

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Igor Štefanić

Zagreb, 2014.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKIRAD

Mentor:

Prof. dr. sc. Mario Štorga

Student:

Igor Štefanić

Zagreb, 2014.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći stečena znanja tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se mentoru prof.dr.sc. Mariu Štorgi na pomoći, savjetima i razumijevanju. Također, zahvaljujem se na strpljenju i stručnim savjetima zaposlenicima tvrtke Metalac-PNT d.o.o. iz Bedekovčine.

Veliko hvala mojoj obitelji!

Igor Štefanić



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:
procesno-energetski, konstrukcijski, brodstrojarski i inženjersko modeliranje i računalne simulacije

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **Igor Štefanić**

Mat. br.:0035169292

Naslov rada na
hrvatskom jeziku:

PRENOSIVI CNC PLAMENI REZAČ ČELIČNIH PLOČA

Naslov rada na
engleskom jeziku:

MOBILE CNC GAS CUTTING MACHINE

Opis zadatka:

Zadatak rada je koncipirati i konstrukcijski razraditi CNC prenosivi plameni rezač čeličnih ploča (kontura) s 3 radne osi i regulacijom protoka plinova obzirom na značajke plamenog rezanja. Rezač mora imati jedan gorionik. Stroj mora imati mogućnost rezanja čeličnih ploča debljine od 6 do 200 mm. Hod u ravnini ploče mora biti minimalno 1500 x 1500 mm. Pri konstruiranju stroja posebno je važno pripaziti na točnost i robusnost izrade. Stroj mora imati mogućnost prevoženja na vlastitim kotačima do skladišta materijala, te sukladno tome mora imati što manju masu te je predviđen za rastavljanje. Posebnu pažnju potrebno je posvetiti načinu učvršćivanja i osiguranja stroja od pomicanja za vrijeme rada.

U radu je potrebno:

- Analizom tržišta definirati zahtjeve i izraditi tehničku specifikaciju za razvoj stroja.
- Metodičkom razradom obuhvatiti različita konceptualna rješenja stroja.
- Tehno-ekonomskom analizom odabrati projektno rješenje.
- Odabrano projektno rješenje stroja razraditi uz uporabu standardnih sklopova, te s potrebnim proračunima nestandardnih dijelova. Pri konstrukcijskoj razradi paziti na tehnologično oblikovanje dijelova te sigurnost korisnika pri korištenju stroja, kao i na utjecaj stroja na okoliš.
- Izraditi računalni 3D model i tehničku dokumentaciju stroja.

Opseg konstrukcijske razrade, modeliranja i izrade tehničke dokumentacije dogovoriti tijekom izrade rada.

U radu navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

8. svibnja 2014.

Rok predaje rada:

10. srpnja 2014.

Predviđeni datumi obrane:

16., 17. i 18. srpnja 2014.

Zadatak zadao:

Prof. dr. sc. Mario Štorga

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Zvonimir Guzović

SADRŽAJ

SADRŽAJ	I
POPIS SLIKA	III
POPIS TABLICA.....	IV
POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE	V
POPIS OZNAKA	VI
SAŽETAK.....	VIII
SUMMARY	IX
1. Uvod	1
2. Plameno rezanje i CNC	4
2.1. Plameno rezanje u struji kisika – značajke	4
2.2. Područje primjene plamenog rezanja	5
2.3. Računalno numeričko upravljanje u službi plamenog rezanja.....	6
2.4. Pogon i vođenje radnih osi CNC strojeva.....	7
2.4.1. Koračni i servo motor	8
2.4.1.1. NEMA (eng. National Electrical Manufacturers Association).....	11
2.4.2. Linearni motori [19].....	12
2.4.3. Navojna vretena	13
2.4.4. Pogon zupčastim remenom.....	15
2.4.4.1. Zupčasti remeni prijenosi visoke preciznosti.....	17
3. Dimenzije čeličnih ploča	18
3.1. Tolerancije oblika čeličnih ploča prema HRN EN 10029:2010.....	18
4. Određivanje ciljanih karakteristika rezača.....	20
4.1. Određivanje korisničkih potreba.....	20
5. Generiranje koncepta nosača	22
5.1. Funkcijska dekompozicija.....	22
5.2. Morfološka matrica	24
5.2.1. „Komunikaciju ostvariti“-upravljačka elektronika i MACH3.....	27
5.2.1.1. „Charge pump“ zaštita operatera i stroja	31
5.3. Koncept 1	32
5.4. Koncept 2	33
5.4.1. Tvrdo anodiziranje Al-legura.....	34
5.5. Koncept 3	35
5.6. Vrednovanje i odabir koncepata	36
6. Konstrukcijska razrada	38
6.1. Aluminijska šipka Y-osi.....	38
6.2. Aluminijska šipka X-osi.....	40
6.3. Nosač šipki i koračnog motora.....	41
6.4. Nosač šipke i magneta.....	42
6.5. Klizači	42

6.6. Kućište motora X i Y osi.....	43
6.7. Nosač remenice	44
6.8. Nosač Z-osi	44
6.9. Proračun koračnih motora X i Y osi, provjera nosivosti remena.....	46
6.10. Proračun koračnog motora Z osi.....	48
7. Upute za sklapanje i korištenje	49
8. Opis glavnih podsklopova	51
9. Zaključak	52
10. Literatura.....	53
11. Prilog	54

POPIS SLIKA

Slika 1. CNC rezač MR2000.....	3
Slika 2. Rezanje čelika bez klasičnog alata.....	3
Slika 3. Usporedba brzina rezanja različitim tehnologijama.....	4
Slika 4. Bušene kartice [11]	7
Slika 5. Koračni i servo motor	8
Slika 6. Osnovni elementi servo pogona.....	9
Slika 7. Pojednostavljeni prikaz rada servo motora	9
Slika 8. Reprezentativni prikaz rada koračnog motora[1].....	10
Slika 9. Linearni motor[19].....	13
Slika 10. Linearni motor-osnovni dijelovi[1].....	13
Slika 11. Trapezno navojno vreteno [1]	14
Slika 12. Kuglično navojno vreteno [1]	15
Slika 13. Dimenzije remena	16
Slika 14. Elementi zupčastog remena	17
Slika 15. Nosivosti poliuretanskih remena proizvođača Belson Beltings Ltd.	17
Slika 13. Tolerancije ravnosti ploča prema HRN EN 10029:2010	19
Slika 17. Opasnost od ozlijede na postojećem stroju	21
Slika 18. Glavna funkcija	22
Slika 19. Funkcijska dekompozicija.....	23
Slika 20. Set koračnog motora, napajanja i upravljačke elektronike	27
Slika 21. Opto-izolator (shema lijevo) i komercijalni <i>driver</i> (desno) [1]	28
Slika 22. <i>DriverTest.exe</i> - prozor [1].....	29
Slika 23. Početni prozor programa <i>Mach 3</i> i <i>Jog Control</i> prozor [1]	29
Slika 24. Prozor za podešavanje pinova [1]	30
Slika 25. Prozor za podešavanje motora [1].....	31
Slika 26. Elementi koncepta 1	32
Slika 27. Elementi koncepta 2.....	33
Slika 28. Ležaj za linearna gibanja.....	34
Slika 29. Tvrdno anodizirana glava dvotaktnog motora	35
Slika 30. Elementi koncepta 3.....	35
Slika 31. Linearni koračni motor H2W Technologies.[12].....	36
Slika 32. Pojednostavljeni prikaz opterećenja šipke	38
Slika 33. Skica nosača šipki i koračnog motora.....	41
Slika 34. Skica nosača šipke i magneta.....	42
Slika 35. Skica većeg klizača	43
Slika 36. Skica kućišta motora	43
Slika 37. Skica nosača Remenice	44
Slika 38. Skica nosača Z-osi	45
Slika 39. Dimenzije linearnog stola serije KV100	45
Slika 40. Remenica pogona X i Y osi	46
Slika 41. Skica opterećenja remenice X i Y osi	47
Slika 42. 3D model rezača 1.....	50
Slika 43. 3D model rezača 2.....	50

POPIS TABLICA

Tablica 1. Brzine rezanja gorionika „Harris“ [13]	2
Tablica 2. Tehničke karakteristike rezača MR2000	3
Tablica 3. Usporedbe troškova rezanja različitim tehnologijama [14]	5
Tablica 4. Usporedba servo i koračnih motora.....	11
Tablica 5. Usporedba karakteristika trapeznog i kugličnog navojnog vretena	14
Tablica 6. Standardne širine i koraci zupčastih remenih prijenosa [9]	16
Tablica 6. Odstupanje ravnosti čeličnih ploča (mm) [7]	18
Tablica 7. Intervjuiranje korisnika/kupca.....	20
Tablica 9. Morfološka matrica	24
Tablica 10. Vrednovanje koncepata	36
Tablica 11. Podaci za nabavu materijala za izradu nosive šipke	39
Tablica 12. Podaci za nabavu materijala za izradu nosive šipke	41
Tablica 13. Tehnički podaci linearnog stola	46
Tablica 14. Tehničke karakteristike motora za pogon X i Y osi.....	47

POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE

Broj crteža

CM_01.00
 CM_01_01.00
 CM_01_02.00
 CM_01_03.00
 CM_01_04.00
 CM_01_05.00
 CM_01_07.00
 CM_01_08.00
 CM_01_09.00
 CM_01_12.00
 CM_01_13.00
 CM_01_19.00
 CM_01_20.00
 CM_01_01_01.00
 CM_01_01_02.00
 CM_01_01_03.00
 CM_01_01_04.00
 CM_01_07_01.00
 CM_01_07_02.00
 CM_01_07_03.00
 CM_01_07_04.00
 CM_01_07_05.00
 CM_01_07_06.00
 CM_01_07_07.00
 CM_01_09_01.00
 CM_01_12_01.00
 CM_01_12_02.00
 CM_01_20_02.00
 CM_01_20_03.00
 CM_01_20_04.00
 CM_01_20_05.00
 CM_01_20_06.00
 CM_01_20_07.00
 CM_01_20_09.00
 CM_01_07_03_01.00
 CM_01_07_04_02.00
 CM_01_07_04_03.00
 CM_01_07_04_05.00
 CM_01_07_04_06.00
 CM_01_07_04_11.00
 CM_01_07_05_02.00
 CM_01_07_05_05.00
 CM_01_07_04_02A.00
 CM_01_07_04_02B.00
 CM_01_07_04_02C.00
 CM_01_07_04_11A.00
 CM_01_07_04_11B.00

Naziv crteža

Cutter Master 1500
 Kućište motora Y-osi
 Kućište motora X-osi
 Poklopac remenice
 Poklopac motora X-osi
 Poklopac elektronike
 Podsklop X-osi
 Nosač vodilice
 L-profil ukruta
 Monoklizač
 Ručka za vuču
 Zatvarač remena
 Podsklop Y-osi
 Ploča motora 1
 Ploča motora 2
 Ploča prihvata motora
 Nosiva ploča el. upravljanja
 Nosač šipke X-osi manji
 Nosač šipke X-osi veći
 Klizač X-osi
 Z-os
 Podsklop remenice
 Adapter nosača vodilice
 Šipka $\varnothing 25$
 Držač magneta
 Nosač šipke manji
 Šipka $\varnothing 40$
 Nosač šipki 1
 Nosač šipki 2
 Kućište klizača
 Adapter kotača
 Podsklop remenice
 Adapter ukrute
 Zubna letva
 Kućište klizača X-osi
 Adapter motora
 Spojka
 Nosač gorionika
 Štitnik vida
 Nosač Z-osi
 Nosač ležaja
 Osovinica
 Donja ploča adaptera
 Cijev adaptera
 Gornja ploča adaptera
 Ploča nosača Z-osi
 Rebro nosača Z-osi

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
g	m/s^2	Ubrzanje sile teže
m_{pretp1}	kg	Pretpostavljena masa na Y-os
E_{Al}	MPa	Youngov modul elastičnosti za aluminij
$I_{\S1a}$	mm^4	Računski moment otpora debljeg štapa
$f_{\S1}$	mm	Pretpostavljeni progib debljeg štapa
$D_{\S1}$	mm	Vanjski promjer debljeg štapa
$d_{\S1max}$	mm	Maksimalni dozvoljeni unutarnji promjer debljeg štapa
$d_{\S1}$	mm	Maksimalni odabrani promjer debljeg štapa
$l_{\S1}$	m	Duljina debljeg štapa
F_1	N	Sila na deblji štap
$e_{\S1}$	mm	Udaljenost od neutralne osi debljeg štapa
$I_{\S1}$	mm^4	Stvarni moment otpora debljeg štapa
$M_{\S1max}$	Nm	Maksimalni moment u debljem štapu
$\sigma_{\S1max}$	N/mm^2	Najveće naprezanje u debljem štapu
m_{pretp2}	kg	Pretpostavljena masa na X-os
$I_{\S2a}$	mm^4	Računski moment otpora tanjeg štapa
$f_{\S2}$	mm	Pretpostavljeni progib tanjeg štapa
$D_{\S2}$	mm	Vanjski promjer tanjeg štapa
$d_{\S2max}$	mm	Maksimalni dozvoljeni unutarnji promjer tanjeg štapa
$d_{\S2}$	mm	Maksimalni odabrani promjer tanjeg štapa
$l_{\S2}$	m	Duljina tanjeg štapa
F_2	N	Sila na tanji štap
$e_{\S2}$	mm	Udaljenost od neutralne osi tanjeg štapa
$I_{\S2}$	mm^4	Stvarni moment otpora tanjeg štapa
$M_{\S2max}$	Nm	Maksimalni moment u tanjem štapu
$\sigma_{\S2max}$	N/mm^2	Najveće naprezanje u tanjem štapu
$v_{x,y}$	m/min	Brzine X i Y osi
D_{dR}	mm	Diobeni promjer remenice koračnog motora
$n_{EM\ x,y}$	okr/min	Broj okretaja koračnog motora X i Y osi
$T_{x,y\ max}$	Nm	Maksimalni moment na vratilu koračnog motora
S	-	Faktor sigurnosti
μ_L	-	Korisnost ležajnog mjesta
P_{vret}	-	Uspon vretena
$F_{t\ x,y}$	N	Tangencijalna sila na remenici koračnog motora
$a_{x,y}$	m/s^2	Ubrzanje X i Y osi

n_{EMz}	okr/min	Broj okretaja koračnog motora Z osi
v_z	m/s	Brzina Z osi
p	-	Korak remena
L	mm	Duljina ploče
H	mm	Visina ploče
N_k	-	Referentni broj koraka motora
P_M	-	Rezolucija koračnog motora
p_M	-	Korak koračnog motora

SAŽETAK

U proizvodnji strojnih dijelova, odnosno strojnoj obradi metala prva od tehnoloških operacija je rezanje kupovnog materijala s dodatkom za obradu. Neke vrste rezanja (rezanje metalnih ploča laserom ili vodom) ne zahtijevaju naknadnu obradu, no to naravno ovisi o definiranim tolerancijama i obliku pozicije. Međutim takva rezanja su često ograničena debljinom materijala, a ako je i moguće rezati deblje materijale, kvaliteta reza s donje strane znatno pada sa povećanjem debljine materijala. Kako je poslije rezanja kupovnog materijala u većini slučajeva potrebna daljnja strojna obrada, tvrtke se najčešće odlučuju za slabiju kvalitetu reza, ali jeftiniju varijantu - propan-butan kisik rezanje, poznatije kao plameno rezanje.

U radu je prikazan proces konstruiranja prenosivog CNC plamenog rezača za rezanje čeličnih ploča u industriji strojne obrade metala. Uočena je potreba za takvom vrstom stroja, dan je pregled postojećih strojnih elemenata i rješenja, objašnjen je način rada plamenog rezanja, prikazani su rezultati ankete potencijalnih kupaca/korisnika, napravljena je idejna skica, izvedena je funkcijska dekompozicija stroja iz koje su generirani koncepti. Koncepti su ocijenjeni i odabran je najbolji koji je dalje detaljno razrađen sa proračunatim kritičnim dijelovima, pogonima, pogonskim elementima. Objašnjen je princip rada CNC upravljanja sa MACH 3 upravljačkim sučeljem. Na kraju je napravljena kompletna tehnička dokumentacija za nabavu materijala i izradu rezača.

Ključne riječi: CNC rezač, rezanje čeličnih ploča, MACH 3, propan-butan kisik, tehnologija

SUMMARY

In a production of machine parts, regarding metal machining, first of technological operations is a cutting of purchased material with an addition for further processing. Some types of cutting (cutting of metal plates with laser or water jet) demands subsequent processing, but that depends on a defined tolerances and a shape of position. However those types of cutting are often limited with thickness of a material. If it is possible to cut thicker materials, quality of a cut drops significantly with an increase of a material thickness. As in most cases there is a need for further processing after cutting, companies decide on a lower quality cut but a cheaper variant – oxyfuel cutting.

In this thesis is shown design process of a portable CNC oxyfuel cutter for cutting steel plates in metal process industry. A need for that kind of machine is spotted, overview of existing machine elements and solutions is given, way of working of an oxyfuel cutter is explained, results of a questionnaires for a potential buyer/user are shown, conceptual sketch is made, functional decomposition is carried out from which are generated concepts. Concepts are evaluated and the best is chosen and further elaborated with calculation of critical parts, drives, and drive elements. Principle of Computer Numerical Control with graphical interface of MACH3 is explained. In the end, complete technical documentation for material procurement and production of a portable CNC cutter is given.

Key words: CNC cutter, cutting of a steel plates, MACH 3, oxyfuel, technology

1. Uvod

Tvrtka Metalac-PNT iz Bedekovčine ima dugogodišnju tradiciju strojne obrade metala. Osim iz usluge, strojna se obrada izvodi u svrhu vlastite strojogradnje. Uz ostali proizvodni asortiman Metalac-PNT proizvodi i plinske CNC rezače sa MACH 3 upravljačkim sučeljem.

Nakon odabira kvalitete i oblika kupovnog materijala u proizvodnji, dolazi red na inicijalno oblikovanje-rezanje. Rezanje materijala, ovisno o zahtjevima za kvalitetom, može biti različito. Npr. može biti zahtijevano rezanje materijala bez unosa topline, odnosno sa vrlo malim unosom topline, precizno rezanje ili pak rezanje sa vrlo malo strugotine radi uštede materijala.

U proizvodnji se kao najvažniji faktor poslije kvalitete uzima ekonomičnost. Ukoliko povećamo brzinu rezanja, smanjimo manipulacije i prenošenje materijala sa jednog mjesta na drugo, smanjimo trošenje alata, potrebnu ljudsku snagu i dr. smanjili smo i troškove.

Međutim, zahtjevi za kvalitetom se ne mogu i ne smiju izbjeći. Zbog toga postoje različite tehnologije rezanja kupovnog materijala. Kao najzastupljeniji materijal u proizvodnji, čelik nije i najzahvalniji po pitanju obrade odvajanjem čestica. S obzirom na mehanička svojstva čelika, alati za njegovu obradu nerijetko moraju biti iznimnih svojstava. Ti alati traju relativno kratko, a cijena im je visoka.

Kod rezanja čelika cilj je smanjiti upotrebu klasičnih alata i tako smanjiti troškove. Klasični načini rezanja materijala su pilama za metal (tračna pila), škarama (rezanje na savijačima/rezačima lima), čeličnom užadi presvučenim dijamantnom prašinom ili čak rezanje kontura na obradnim centrima. Pored toga postoji rezanje plamenom, plazmom, laserom ili vodenim mlazom.

Za rezanje najzahtjevniji oblik kupovnog materijala jest onaj u debelim pločama. Čelične ploče mogu biti debljine do 400mm i više. Pritom najekonomičnijim načinom rezanja za male tvrtke pokazalo se plameno rezanje u struji kisika, odnosno gorionikom na mješavinu propan/butan-kisik. Brzine rezanja u odnosu na debljinu čelične ploče za gorionik Harris 6290 dane su u tablici 1.[13].

Plameno rezanje čeličnih ploča je u prednosti zbog mogućnosti rezanja vrlo debelih ploča, različitih materijala i kvaliteta materijala. Drugim gore navedenim tehnologijama

rezanja smo ograničeni na tanje ploče, bez obzira na brzinu rezanja i kvalitetu, što je predloženo u nastavku.

Tablica 1. Brzine rezanja gorionika „Harris“ [13]

6290-VVC 6290-NH TIP SIZE	PLATE THICKNESS /mm/	CUTTING SPEED /mm/min/	KERF WIDTH /mm/	PREHEAT OXY PRESSURE (high-low) /bar/	CUTTING OXY PRESSURE /bar/
5/0VVC	1-4	750-550	1,3	0,7-0,4	3,0
4/0VVC	4-6	700-520	1,5	1,0-0,5	3,5
3/0VVC	6-9	650-480	1,8	2,5-0,7	5,0
00VVC	9-12,5	630-450	1,8	2,5-0,7	5,0
0VVC	12,5-20	600-400	2,0	2,5-0,7	6,0
01/2VVC	20-35	550-360	2,0	2,5-0,7	7,0
1VVC	35-60	480-220	2,3	2,5-0,7	7,0
11/2VVC	60-75	310-200	2,8	2,5-0,7	6,5
2VVC	75-100	280-190	3,0	2,5-0,7	6,5
2VVC	100-125	240-180	3,0	2,5-0,7	7,0
21/2VVC	125-150	200-160	3,3	2,5-0,7	6,5
3VVC	150-175	180-150	3,5	2,5-0,7	7,0
4VVC	175-200	180-150	4,0	2,5-0,7	6,5
5VVC	200-225	150-130	5,0	2,8-0,7	6,0
51/2VVC	225-250	130-110	6,4	2,8-0,7	6,0
5NH	225-250	130-110	6,4	2,8-0,7	4,0
6NH	250-275	130-110	6,4	2,8-0,7	4,0
7NH	275-300	120-100	6,4	3,5-0,7	4,5
8NH	300-380	110-90	7,6	3,5-0,7	4,5

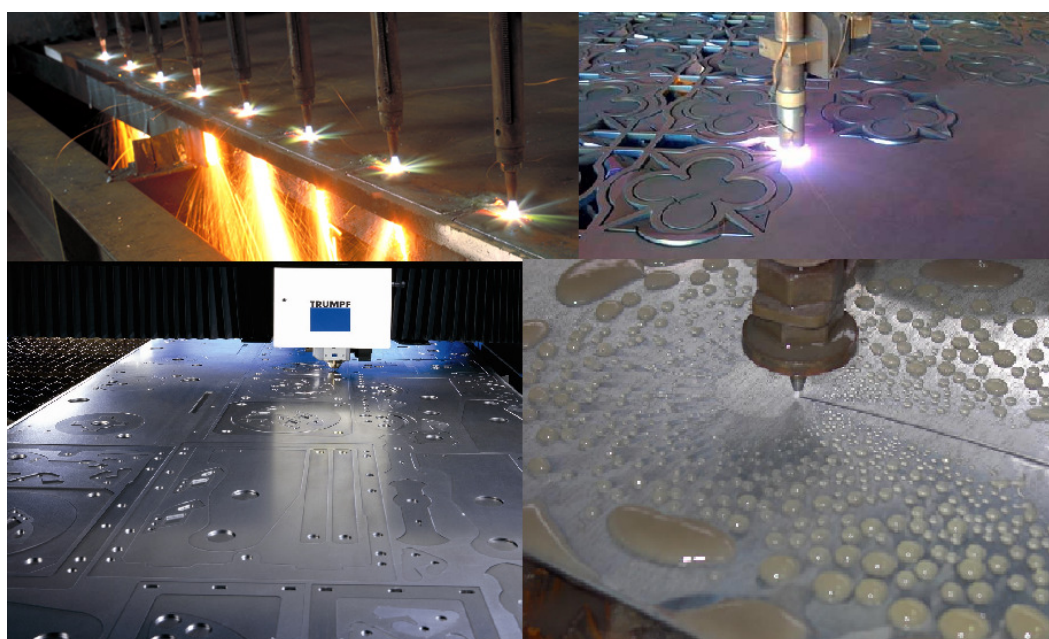
CNC plinski rezač MR2000 (slika 1.) tvrtke Metalac-PNT, čije su tehničke karakteristike dane u tablici 2., se odlikuje čvrstom masivnom konstrukcijom, pouzdanošću, preciznošću i jednostavnošću izvedbe. Iz jednostavnosti proizlazi i relativno niska cijena koštanja. Iako rezač ima prednosti pred konkurencijom, u novije vrijeme javljaju se izvedbe rezača koje se odlikuju malom masom, a predviđene su za prenošenje do materijala koji se mora rezati, za razliku od klasičnih izvedbi, za koje mora biti osiguran prijevoz viličarom ili dizalicom.



Slika 1. CNC rezač MR2000

Tablica 2. Tehničke karakteristike rezača MR2000

-veličina stola (dimenzije ploče)	1500mm x 2100mm
-hodovi osi	1500mm x 2000mm x 240mm (X,Y,Z)
-pogon X i Y osi	servo motori preko zubnih letvi
-pogon Z osi	servo motor preko kugl. vretena
-max. brzina rezanja	5 m/min
-max. brzina pozicioniranja	6 m/min
-točnost pozicioniranja	0,1mm
-programska podrška	MACH 3 na hrv. jeziku
-max. debljina lima	150mm
-nosivost stola	1500kg
-gorionik	Harris 6290-VVC



Slika 2. Rezanje čelika bez klasičnog alata

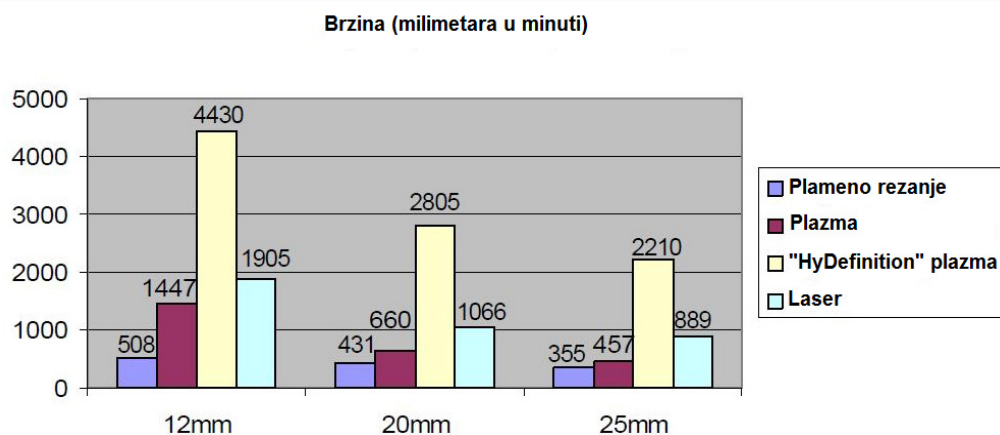
2. Plameno rezanje i CNC

2.1. Plameno rezanje u struji kisika – značajke

Plameno rezanje kisikom koristi plamen odnosno toplinu generiranu izgaranjem zapaljivog plina (najčešće propan-butan ili acetilen) za predgrijavanje na mjestu početka reza. Vrijeme predgrijavanja ovisi o vrsti i debljini materijala. Nakon predgrijavanja slijedi probijanje materijala, tako da se poveća protok kisika („pušta se rezni kisik“). U tom trenutku započinje kemijska reakcija između kisika i metala koja također oslobađa dodatnu toplinu. Počinje rezanje zadane konture numeričkim upravljanjem (ili ručno), a proces rezanja je samoodrživ ukoliko su brzina rezanja i protok kisika ispravno podešeni. Kemijska čistoća kisika je također vrlo važan parametar i njegov molarni udio mora biti minimalno 99,5% [10]. Po završetku rezanja zatvaraju se i kisik i zapaljivi plin.

Kako je već rečeno, najveća prednost plinskog rezanja je u njegovoj cijeni, no ne samo u cijeni plina i opreme, već i udostupnosti opreme za takvo rezanje na tržištu te mogućnostima koje plinsko rezanje pruža. Ovisno o tipu gorionika i mješavini plina, postoji mogućnost rezanja čeličnih ploča do 380mm debljine sa standardnim gorionicima u zadovoljavajućoj točnosti.

Osim navedenih prednosti, oprema za plinsko rezanje je jednostavno prenosiva, za razliku od pila, škara, rezača na vodeni mlaz i ostalih, brzina rezanja je veća nego kod mehaničkog načina rezanja, niža cijena opreme nego kod mehaničkog rezanja, moguće su nagle promjene smjera rezanja, vrlo velike dimenzije se mogu rezati odjednom. Vrlo sličan način rezanja je rezanje plazmom, no oprema je skuplja pa se velik broj proizvođača ne odlučuje za takvo rezanje. Nedostatak plamenog rezanja je u brzini rezanja – slika 3.



Slika 3. Usporedba brzina rezanja različitim tehnologijama

Važno je spomenuti da se kod plamenog rezanja kao nusproizvod pojavljuje značajna količina troske. Pojava troske se može shvatiti kao nedostatak, no uzmemo li u obzir da se ne pojavljuju krute lebdeće čestice kao kod plazma rezanja, troska ne mora predstavljati ozbiljniji problem.

Osim navedenih plinova propan-butan i acetilen, još se koriste i propilen (C_3H_6) i MAPP (Metilacetilen-propadien). Prednost korištenja mješavine prirodnog plina propan-butan je u cijeni koštanja i u tome da se ne moraju koristiti visokotlačna crijeva za dovod plina od boca do gorionika. Nedostaci su u tome da plamen ima nižu temperaturu i nije toliko intenzivan kao kod ostalih navedenih plinova.

2.2. Područje primjene plamenog rezanja

Toplinsko rezanje – Razredba rezova – Geometrijska specifikacija proizvoda i dozvoljena odstupanja kakvoće (ISO 9013:2002; EN ISO 9013:2002) je međunarodna norma koja se odnosi na materijale koji su prikladni za plinsko rezanje te rezanje plazmom i laserom. Primjenjuje se za plinske rezove od 3 mm do 300 mm, plazma rezove od 1 mm do 150 mm i za rezove laserom od 0,5 mm do 40 mm. [3]

Isplativost rezanja laserom, odnosno plazmom ovisi o udjelu serijske proizvodnje u ukupnoj proizvodnji. Tako će proizvođači koji koriste laser za rezanje metalnih ploča najčešće raditi velike serije proizvoda od ploča debljine do 40mm. Proizvođači koji rade manje serije će se odlučiti za jeftiniju varijantu rezanja, koja im ujedno pokriva i širi spektar debljina ploča. Usporedba cijena različitih rezanja dana je u tablici 3.

Tablica 3. Usporedbe troškova rezanja različitim tehnologijama [14]

Troškovi rezanja	Plameno rezanje	Rezanje plazmom	HyDefinition plazma rezanje	Laser
Potrošni materijal	0,36kn	35,35kn	100,62kn	0,00kn
Energija	0,00kn	5,34kn	24,00kn	35,00kn
Plinovi	37,20kn	0,06kn	47,40kn	224,60kn
Rezervni dijelovi	0,00kn	0,00kn	0,00kn	21,00kn
Ukupni troškovi rezanja / h	37,56kn	40,74kn	172,02kn	280,60kn

Brzine i točnost rezanja laserom opravdavaju njegovu cijenu, jer prva tehnološka operacija može ujedno biti i posljednja. No istodobno rezanje laserom može biti neisplativo ako se ne proizvode velike serije identičnih pozicija.

Iako je plameno rezanje mješavinom propan/butan-kisik relativno sporo, neprecizno, s velikim unosom topline, s velikim udjelom troske, sa svojim prednostima i jednostavnošću, još je uvijek najbolje rješenje za mnoge proizvođače koji nemaju serijske proizvodnje.

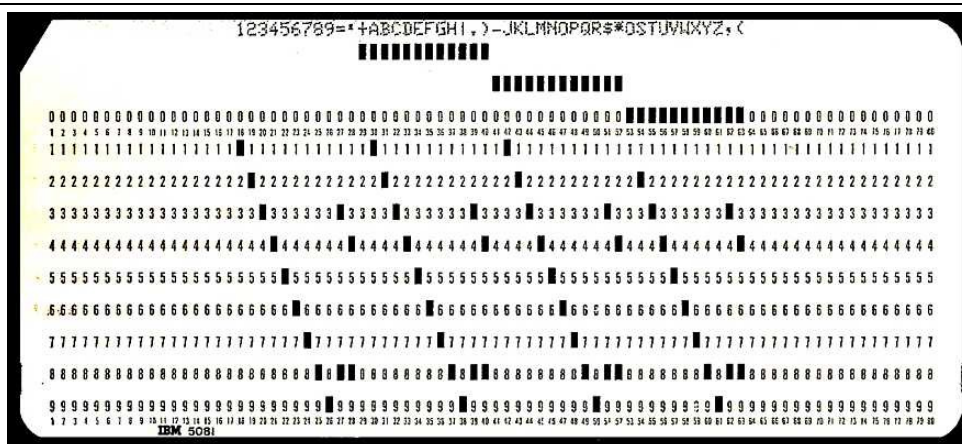
2.3. Računalno numeričko upravljanje u službi plamenog rezanja

Prvi numerički upravljani strojevi su razvijeni između 1940. i 1950. godine. Radili su na principu bušenih kartica (slika 4.). Razvojem računala javlja se CNC obrada koja je započela revoluciju u procesu strojne obrade.[11]

CNC alatni strojevi velikom brzinom zamjenjuju one klasične. Klasični alatni strojevi su još uvijek u upotrebi zahvaljujući svojoj trajnosti i pouzdanosti, no sve ih je manje bez obzira na te prednosti. Ukoliko se i nalaze u suvremenim pogonima, često se ne koriste i služe kao rezerva zbog neisplativosti u serijskoj proizvodnji. Suvremena CNC upravljanja (Fanuc, Siemens, Heidenhein, Mazak, DeckelMaho, Heller,...) koriste programe pisane u ISO „G-kodu“. G-kod sadrži informacije o putanjama alata, brzinama, odnosno posmacima osi, brzini vrtnje prihvata alata, ciklusima, naredbama za upravljanje ostalim funkcijama stroja (nultočke, tekućina za hlađenje, zaustavljanje stroja, urezivanje navoja, bušenje,...) i drugo. G-kod je moguće pisati ručno, generirati pomoću softvera namjenjenog za to (MasterCAM i slični) ili pak generirati iz 2D crteža (dwg, dxf) ili 3D modela (Catia i slični programski paketi). Svaki generirani G-kod se mora prije stavljanja u upotrebu provesti kroz postprocesor odabranog upravljanja da bi se generirao odgovarajući oblik G-koda.

Računalno numeričko upravljanje strojevima u procesu proizvodnje omogućava podizanje kvalitete konačnog proizvoda i relativno jednostavno zadovoljenje konstrukcijskih zahtjeva kao što su vrlo uske tolerancije mjera, položaja i oblika. Ukoliko je priprema proizvodnje dovoljno dobra, omogućava nam gotovo savršenu ponovljivost za vrijeme obrade. Jedna od vrlo važnih značajki je i brzina obrade materijala koja uz pomoć kvalitetnih alata postiže vrlo visoke vrijednosti.

Imajući u vidu mogućnosti plamenog rezanja, integracija CNC upravljanja i plamenog rezanja nedvojbeno bi povećala produktivnost i kvalitetu proizvodnog procesa. S obzirom na to da je točnost plamenog rezanja relativno niska u usporedbi s drugim tehnologijama rezanja i obrade metala, tokom razvoja CNC plamenog rezača ne bi trebalo ispuniti zahtjeve koji se normalno javljaju pri razvoju CNC strojeva kao što je visoka krutost konstrukcije ili precizno pozicioniranje elektromotornog pogona osi.



Slika 4. Bušene kartice [11]

Kod odabira numeričkog upravljanja za prenosivi rezač, važno je imati u vidu zahtjeve i značajke plamenog rezanja te činjenicu da sustav za numeričku kontrolu mora imati mogućnost instalacije na osobno, odnosno prijenosno računalo, zbog mogućnosti odvajanja od rezača i prenosivosti.

2.4. Pogon i vođenje radnih osi CNC strojeva

Rezač mora imati tri pravocrtno gibljive osi kako bi mogao zadovoljiti svoju glavnu funkciju-rezanje kontura i prilagođavanje na debljinu ploče. Osi X i Y za gibanje u obliku kontura koje se režu i os Z za primicanje/odmicanje od radne površine, odnosno ploče. Brzine gibanja zahtijevane u zadatku dovoljno je zadovoljiti u ravnini ploče, jer pozicioniranje z osi u odnosu na vrijeme gibanja po zadanoj konturi traje višestruko kraće.

Pogon osi CNC strojeva se najčešće ostvaruje pomoću koračnih ili servo motora tako da se kružno gibanje vrtila pomoću zupčanika i zubne letve ili pomoću navojnog kugličnog vretena pretvara u pravocrtno. Zavisno o zahtjevima za točnošću obrade, u procesu konstruiranja se odabiru navedeni elementi stroja. Kod suvremenih CNC strojeva visoke točnosti koriste se kuglična navojna vretena koja osiguravaju gibanje bez zračnosti zbog prednapregnutosti. Čak se kompenzira i greška u pozicioniranju zbog toplinskog istezanja materijala, što se češće viđa na strojevima koji imaju ugrađena vretena velike duljine, odnosno koji imaju velike duljine hoda osi. Kao sustav kontrole točnog pozicioniranja, u stroj se ugrađuju i mjerne letve koje sustavu daju povratnu informaciju o položaju. Informaciju o položaju daju i servo pogoni.

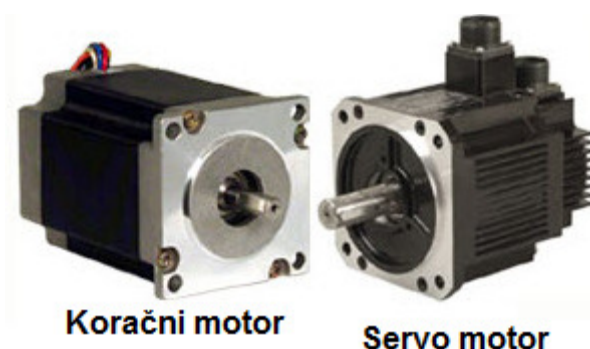
Ukoliko se ne zahtjeva točnost pozicioniranja izražena u mikronima, već je točnost određena samim svojstvima obrade, pretvorba u linearno gibanje se može ostvariti i pomoću zupčanika i zubne letve ili prijenosa zupčastim remenom ili lancem.

Direktni prijenos električne energije u linearno gibanje može se ostvariti pomoću linearnih motora.

Za oslanjanje i vođenje koriste se profilirane vodilice sa valjnim elementima. Takve su vodilice dostupne kao kupovna roba u različitim kvalitetama i nosivostima. Na linearnim su motorima takve vodilice već ugrađene zbog održavanja jednake zračnosti između namotaja i magneta motora.

2.4.1. Koračni i servo motor

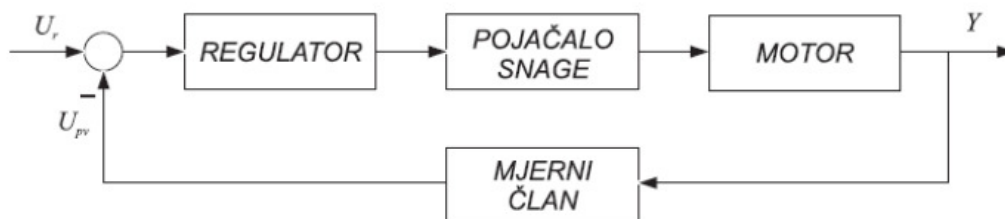
Kako bi u konstruiranju CNC strojeva mogli pravilno odabrati pogon osi, potrebno je poznavati prednosti i nedostatke i jedne i druge vrste motora.



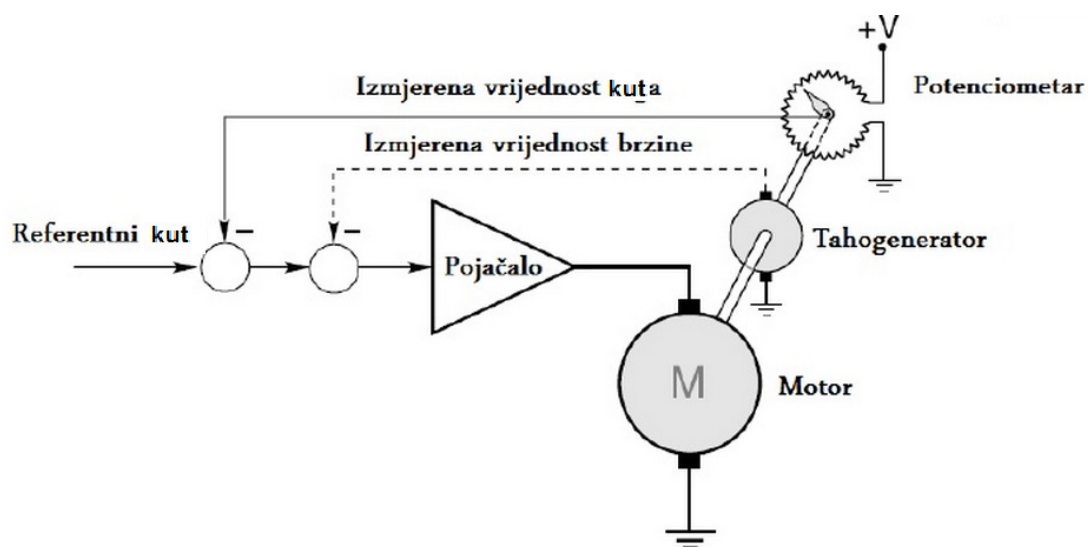
Slika 5. Koračni i servo motor

Servo motori su elektromehanički pretvornici za preciznu kontrolu kutne pozicije, brzine i ubrzanja. Sastoje se od samog pretvornika i senzora koji u povratnoj petlji daje informaciju o poziciji motora. Ukoliko se kut vratila motora ne nalazi u željenoj ili referentnoj poziciji, regulator povećava snagu na ulazu i vraća vratilo u tu poziciju.

Servo motori su zbog svoje složenosti skuplji od koračnih motora, ali nude i mnoge prednosti pred koračnim motorima. Kod servo motora ne postoji opasnost od pogreške u pozicioniranju (ne može doći do preskoka).



Slika 6. Osnovni elementi servo pogona



Slika 7. Pojednostavljeni prikaz rada servo motora

[1] Koračni motori su elektromehanički pretvornici energije koji električne impulse pretvaraju u diskretne mehaničke pomake. Osovina motora rotira u diskretnim koracima kada se šalju ispravne sekvence naredbi. Uz poznavanje kuta zakreta koraka, u svakom trenutku se nakon niza impulsa zna ukupni kut rotacije motora. Na koračne se motore može gledati kao na električne motore bez komutatora. Uobičajeno za njih je da su svi namotaji dio statora, a rotor je permanentni magnet ili nazubljeni blokovi mekog magnetskog materijala. Karakteristike koračnih motora:

- kut rotacije je proporcionalan ulaznom impulsu,
- motor (pod napajanjem) u mirovanju drži maksimalni moment,
- precizno pozicioniranje i ponovljivost,
- brzi odzivi na pokretanje, zaustavljanje i promjenu smjera vrtnje,
- pouzdanost (nema četkica pa životni vijek ovisi prvenstveno o ležajevima),
- jednostavno upravljanje i cijena,
- širok raspon brzina (brzina proporcionalna frekvenciji ulaznih impulsa)

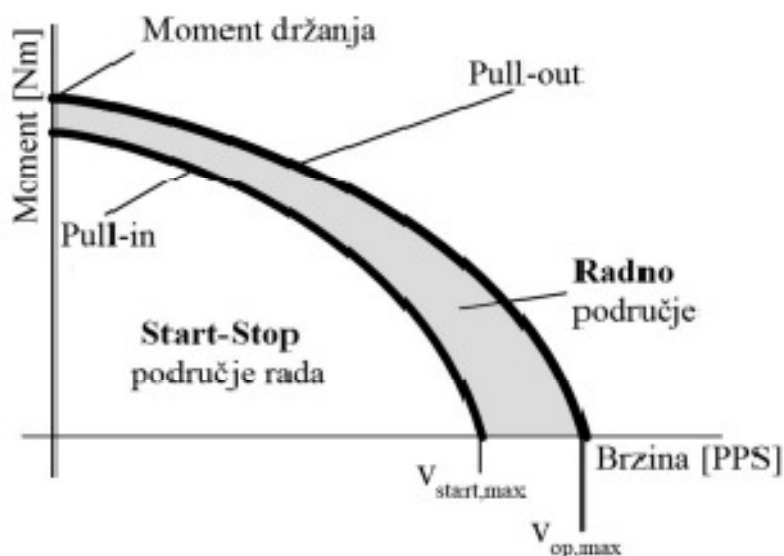
Nedostaci koračnih motora su zahtjevnije upravljanje pri velikim brzinama, pojava rezonancija uz neadekvatno upravljanje te fiksni korak. Koračni motori se dijele prema:

- vrsti uzbude: permanentni, elektromagnetski,
- broju faza: 1 – 6,
- broju para polova: 1 – 90 (serijski), 1 – 4 (stalni magneti),
- načinu gibanja: rotacijski, linearni

Za razliku od servomotora čiji princip rada je u zatvorenoj petlji (enkoderi koji očitavaju poziciju), koračni motori nemaju povratnu petlju pa su stoga jeftiniji i jednostavniji za upravljanje. Upravljački program šalje dvije vrste signala koje upravljačka elektronika (eng. *driveri*) koristi za pogon koračnih motora. To su impulsi koji definiraju brzinu vrtnje i smjer vrtnje motora.

Osnovna svojstva prema kojima se još razlikuju koračni motori:

- rezolucija: broj koraka po jednom okretaju; mogućnost rada u mikrokoracima,
- odziv jednog koraka: brzina, oscilatornost, točnost,
- statički moment motora: moment držanja (eng. *Holding Torque*) – moment potreban za rotaciju osovine kada namotajima teče struja ustaljenog stanja (eng. *Steady State Current*), tj. motor je u mirovanju,
- dinamički moment motora: moment koji motor generira pri zadanom režimu rada (broj koraka u jedinici vremena); može se prezentirati kao pull-in moment ili pull-out moment.



Slika 8. Reprezentativni prikaz rada koračnog motora[1]

Tablica 4. Usporedba servo i koračnih motora

Koračni motor	Servo motor
<u>Prednosti</u>	
Stabilnost-koračni motor može pokretati veliki spektar inercijskih opterećenja	Velika snaga u odnosu na veličinu i masu motora
Ne zahtjeva povratnu informaciju-ponaša se kao pretvornik pozicije	Posjeduje „enkoder“-određuje točnost i razlučivost servo motora
Relativno jeftin	Visok stupanj korisnosti-do 90% kod manjih opterećenja
„Plug and play“-relativno jednostavan za instalaciju i upotrebu	Veliko ubrzanje relativno velikih masa
U slučaju greške ili kvara staje-siguran rad	Ne grije se zbog toga što je jakost struje proporcionalna opterećenju
Odličan zakretni moment pri malim brzinama-može pokretati relativno velike mase bez reduktora	Zadržava okretni moment pri velikim brzinama vrtnje
Zaštita od preopterećenja-ukoliko je preopterećen, motor se ne može oštetiti	Tih i kod velikih brzina
Dugi životni vijek ako se ne prekorače nazivne vrijednosti motora 10 000 radnih sati +	Sigurnost od pojave vibracija i rezonancije
<u>Nedostaci</u>	
Niski stupanj korisnosti	Relativno visoka cijena
Moment naglo pada sa povećanjem brzine	Zahtjeva podešavanje za stabilizaciju povratne veze
Kod mikrokoraka javlja se rezonancija	Potrebni su sigurnosni elektronički sklopovi koji sprječavaju „bježanje motora“ u slučaju kvara
Nema povratne informacije o položaju	Složen, zahtjeva enkoder
Malo ubrzanje kod većih opterećenja	Životni vijek samo oko 2000 radnih sati
Kod velikih opterećenja brzo se grije, pa zahtjeva dodatno hlađenje ventilatorom ili drugim načinom odvođenja topline	Najveći zakretni moment dozvoljen samo 1% ukupnog radnog ciklusa
Motor ne kreće sam nakon uklanjanja preopterećenja	Prekomjerno opterećenje može uništiti motor
Kod srednje velikih i velikih brzina može biti bučan	Struja se kod maksimalnog momenta diže do 10 puta od prosječne radne
Mala izlazna snaga u odnosu na veličinu i težinu motora	Lako se pregrijava

2.4.1.1. NEMA (eng. National Electrical Manufacturers Association)

„NEMA“ jest organizacija za normiranje i objavu standarda koji se tiču električne opreme. Između ostale električne i elektronske opreme objavljuju i norme koje određuju svojstva elektromotora i generatora. NEMA standardizacijom usklađuje se nazivlje, sastav, konstrukcija, dimenzije, tolerancije, zahtjevi za sigurnost, radne karakteristike, performanse, ocjenjivanje i testiranje elektromotora. Pri pretraživanju tržišta elektromotora, može se

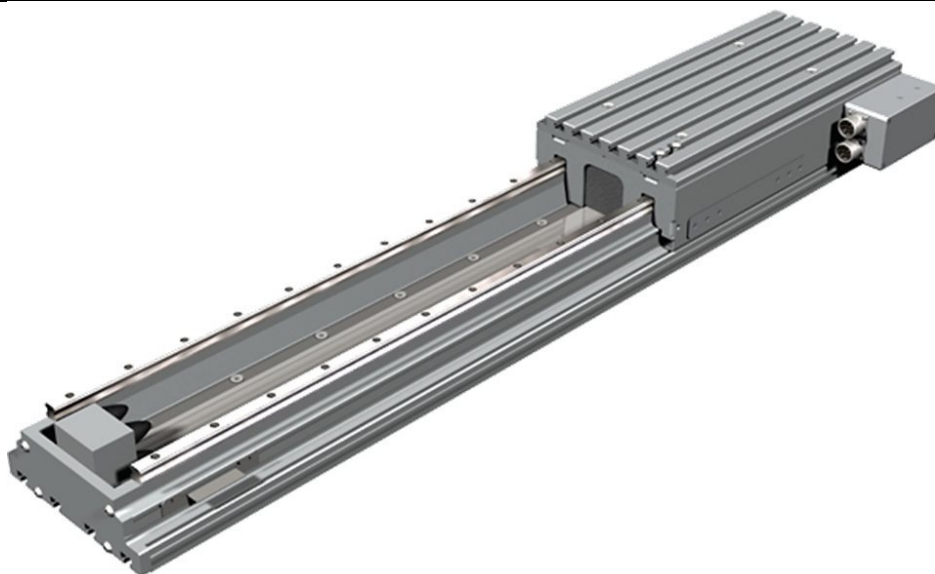
primijetiti da veliki dio proizvođača nastoji svoje proizvode uskladiti sa NEMA standardizacijom. [17]

NEMA standardi olakšavaju način fiksiranja elektromotora na konstrukciju, dimenzioniranje i prilagođavanje konstrukcije elektromotoru tokom procesa konstruiranja, mogućnost naknadne zamjene sa elektromotorom drugog proizvođača bez posebnih prilagodbi i preinaka konstrukcije. Osim toga korisniku osiguravaju pouzdanost i trajnost proizvoda, sigurnost za njega i okolinu ali i električnu opremu na koju se spaja. [17]

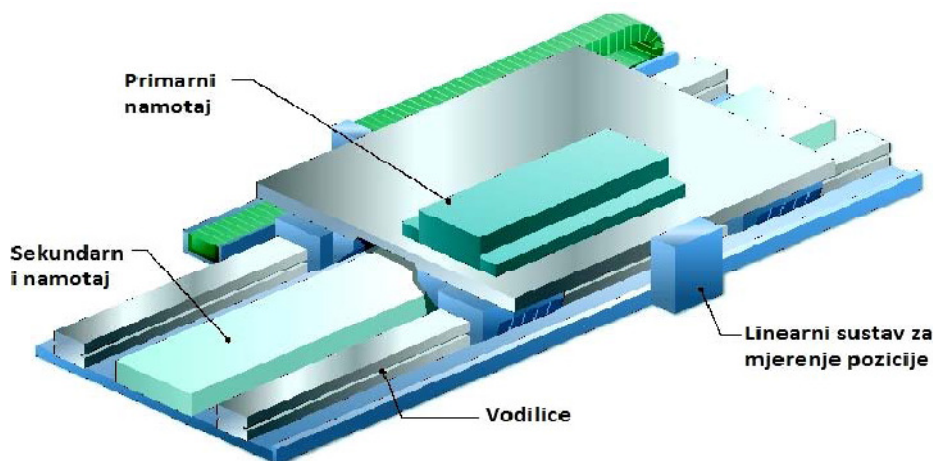
2.4.2. Linearni motori [19]

Linearni motor je posebni oblik elektromotora bez rotirajućih dijelova odnosno rotora, slika 29. Kao linearni motor se najviše koristi asinkroni motor. Takav motor ima razvijeni stator ili samo jedan njegov dio. Na statoru su utori u koje je smješten trofazni namotaj, slika 30.

Linearni motor sam po sebi ne može funkcionirati bez linearnih vodicica koje održavaju pravocrtnost gibanja i drže konstantu zračnost između rotora i statora. Svojstva linearnih motora su da mogu razviti velike posmične brzine do 1200m/min, s izvanrednom preciznošću pozicioniranja i superiornom dinamikom. Maksimalne snage linearnih motora dostižu i do 21 kN [20]. Bitna karakteristika linearnih motora su velika dinamika kao i izvanredna preciznost. Pored navedenog potrebno je kazati da su linearni motori dosta robusni i bez velikog trošenja tijekom eksploatacije kao i niskih troškova održavanja. Uz sve navedene prednosti imaju i dva nedostatka a to su manja mehanička nosivost i njihova visoka cijena koštanja. Linearni se motori mogu predstaviti kao prigoni budućnosti zbog svih svojih prednosti koje su navedene. Koristi se: kod visoko brzinskih alatnih strojeva, dijamantno rezanje, PCB opremi elektro industrije, FPD opremi prehrambene industrije.



Slika 9. Linearni motor[19]



Slika 10. Linearni motor-osnovni dijelovi[1]

2.4.3. Navojna vretena

Kao što je već prije rečeno, bez obzira na vrstu pogona, pravocrtno se gibanje mora osigurati dodatnim elementima vođenja. Ti elementi osiguravaju upravo pravocrtnost, ali i nošenje. Navojna vretena su jedna vrsta tog elementa.

Dvije su vrste navojnih vretena koja su u upotrebi. Također kao i kod pogona, tako i kod vođenja, o točnosti i brzinama ovisi odabir vrste vretena-trapezno ili kuglično navojno.

Kuglično navojno vreteno ima mnoge prednosti pred trapeznim (tablica 5.)

Tablica 5. Usporedba karakteristika trapeznog i kugličnog navojnog vretena

	Trapezno navojno vreteno	Kuglično navojno vreteno
Brzine	Manje	Veće
Pozicioniranje	Teže	Laganije
Vijek trajanja	Kraće	Duže
Udarna opterećenja	Veća	Umjerenija
Trenje	Veće	Manje
Korisnost	$\geq 40\%$	$\geq 90\%$
Troškovi održavanja	Visoki	Niski

Kako bi se osiguralo gibanje bez zračnosti, kod trapeznog navojnog vretena se vrši prednaprezanje matice vretena.

**Slika 11. Trapezno navojno vreteno [1]**

Kuglično navojno vreteno s dvodijelnom maticom je mehanička naprava za pretvaranje rotacijskog gibanja u pravocrtno gibanje (slika 12). U odnosu na trapezno vreteno ovdje se javlja vrlo malo trenje između matice i kugličnog navojnog vretena jer ovdje nema klizanja već se matica pomoću kuglica kotrlja po navojnom vretenu. Sva tri elementa su napravljena u uskim tolerancijama i stoga su pogodni za korištenje u situacijama u kojima je potrebna visoka preciznost, a to su suvremeni numerički upravljani strojevi. Da bi održali sebi svojstvene točnosti i osigurali dug vijek trajanja, velika pažnja je potrebna da se izbjegne kontaminacija prljavštinom i s abrazivnim česticama. Kuglična navojna vretena s dvodijelnom maticom su vrlo osjetljiva, i raditi će optimalno u temperaturnim uvjetima od -20 do $+100^{\circ}\text{C}$ [15].



Slika 12. Kuglično navojno vreteno [1]

2.4.4. Pogon zupčastim remenom

Iako se pouzdanost i točnost pri pozicioniranju pomoću zupčastog remenog prijenosa ne može svrstati u visoku ($\pm 0,005\text{mm}$), takav prijenos se često koristi i kod suvremenih CNC obradnih centara. Prijenos gibanja remenom sklon je greškama zbog visokog stupnja deformacija uslijed naprezanja, pa nije pogodan za velika ubrzanja i usporavanja radnih osi CNC strojeva). Zupčasti remeni prijenos najčešće se koristi kod rotacijskog gibanja glave alata kod klasičnih i suvremenih CNC alatnih strojeva.

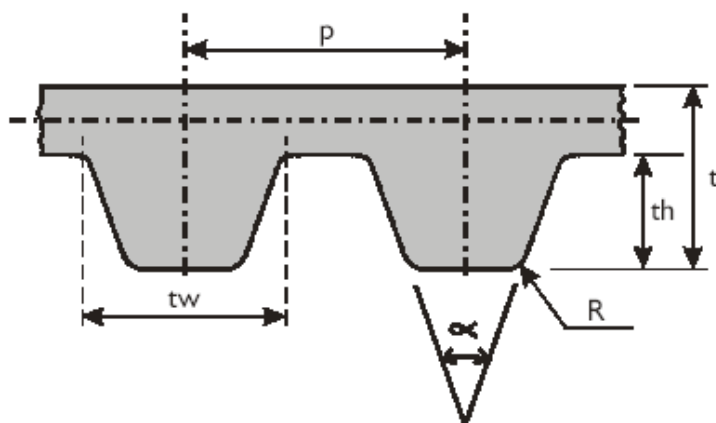
Trajnost takovog pogona je manja nego lančanog, mogućnost oštećenja veća, a nosivost manja. Iako se isprva čini da se takav tip pogona ne može iskoristiti u konstrukciji kao što je CNC stroj, ne treba ga odmah zanemariti. Remen sa remenicama mora biti adekvatno zaštićen od vanjskih utjecaja i onečišćenja, kako bi se produžio njegov vijek trajanja i povećala pouzdanost.

Kupovni zupčasti remeni prijenosi, odnosno elementi zupčastog remenog prijenosa su najčešće dimenzionirani metričkim ili angloameričkim sustavom mjera. Iako se na hrvatskom, odnosno tržištu EU pojavljuju podjednako često, u ovom radu razmatrano je implementiranje elemenata dimenzioniranih metričkim sustavom u konstrukciju rezača.

Standardne dimenzije prijenosa zupčastim remenom koji su dimenzionirani prema metričkom sustavu mjera izvide prema koraku p (slika 13). Duljine remena su također standardizirane. Standardne širine remena su prema koraku dane u tablici 6.

Tablica 6. Standardne širine i koraci zupčastih remenih prijenosa [9]

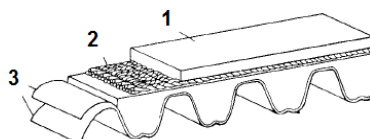
	Korak remena p			
	3mm	5mm	8mm	14mm
Širine remena	6mm	9mm	20mm	40mm
	9mm	15mm	30mm	55mm
	15mm	25mm	50mm	85mm
			85mm	115mm
				170mm



Slika 13. Dimenzije remena

Suvremeni zupčasti remeni prijenosi za velika opterećenja su u mogućnosti prenositi snage do 700kW i pogoniti vratila sa 15000 okr/min. Standardni zupčasti remeni prijenosi (jednostrani) sastoje se (slika 14.) od vanjskog zaštitnog sloja od sintetičke gume (1) koja štiti spiralno pletena staklena vlakna (2) koja nose opterećenje i zuba od višeslojnog najlona (3) za prijanjanje u utor remenice i prenošenje momenta. Spiralno pletena staklena vlakna su raspoređena cijelom širinom remena i tako osiguravaju minimalne deformacije duljine remena, pa time i greške tokom rada. Također, remen je zbog staklenih vlakana izrazito otporan na zamor zbog višekratnih savijanja u svome radnom ciklusu. Remeni su otporni na agresivne tekućine, ulja i maziva, različite atmosferske uvjete i vlagu.[9]

Uz standardne duljine zatvorenih remena, na tržištu postoje tzv. *open ended belts*, koji su na krajevima otvoreni i često služe za pretvorbu kružnog u linearno gibanje. Uz njih, mogu se naći i *double side belts* ili remeni koji imaju zube na obje strane.[9]



Slika 14. Elementi zupčastog remena

2.4.4.1. Zupčasti remeni prijenosi visoke preciznosti

Iako je već prije rečeno da zupčasti remeni prijenosi nisu najbolje rješenje za prijenos gibanja kod visokopreciznog pozicioniranja, u novije se vrijeme koriste specijalne izvedbe remena od poliuretana ojačanog jezgrom od čeličnih žica.[9]

Posebni tehnološki procesi u proizvodnji takve vrste remena omogućavaju da se kao gotovi proizvod dobije remen točnog i duž cijele duljine konstantnog koraka, uz vrlo male tolerancije dimenzija. [9]

Standardni koraci takvih remena su T2.5 (2,5mm), T5 (5mm), T10 (10mm) i T20 (20mm). Na slici 15 dane su nosivosti remena, odnosno dana je vlačna čvrstoća (otvorenih krajeva), u odnosu na dimenzije remena, proizvođača Belson Beltings Ltd.

Technical Specifications

Belt shape	Cross section and dimensions	Belt type Pitch	Admissible tensile force, open belt	
			Steel	Aramide
		T5 5 mm	N/25 mm 840 lbf/25 mm 189	N/25 mm 840 lbf/25 mm 189
		T10 10 mm	N/25 mm 2200 lbf/25 mm 495	N/25 mm 2000 lbf/25 mm 450
		T20 20 mm	N/25 mm 3500 lbf/25 mm 787	N/25 mm 3500 lbf/25 mm 787

Slika 15. Nosivosti poliuretanskih remena proizvođača Belson Beltings Ltd.

Vidljivo je da već i remen koraka 5 mm te širine 25mm može raditi pod opterećenjem od 840N na vlak.

3. Dimenzije čeličnih ploča

Dimenzije kupovnih čeličnih ploča mogu ovisiti o zahtjevima kupca. Trgovine koje nude čelične ploče u raznim kvalitetama i debljinama nude dimenzije koje su prilagođene transportu cestovnim putem, pa najčešće jedna od dimenzija (širina) ne prelazi 2000mm. Druga dimenzija (duljina) ne prelazi 6000mm, osim ako to ne traži kupac, što naravno povisuje troškove transporta i manipulacije..

3.1. Tolerancije oblika čeličnih ploča prema HRN EN 10029:2010

Norma iz naslova propisuje uz ostale uvjete i vrijednosti tolerancije ravnosti čeličnih ploča kao uvjete isporuke. (Tablica 6.) Uputa za mjerenje ravnosti ploča iz norme: „Ploču položiti na ravnu površinu. Odstupanje od ravnosti treba odrediti mjereći odstupanje u daljinu između ploče i ravnog ruba duljine 1000mm ili 2000mm koji može biti postavljen u bilo kojem smjeru.“ [7]

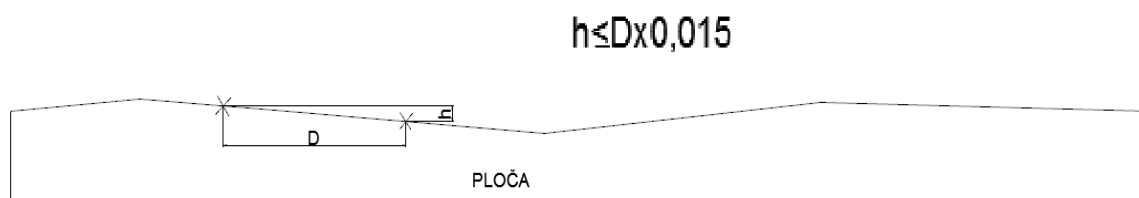
Nakon opisa mjerenja odstupanja čelici se klasificiraju prema svojstvima (vlačna čvrstoća) i udjelu legirnih elemenata u dvije kategorije tolerancije ravnosti L i H i specijalnu kategoriju S. [7]

Tablica 7. Odstupanje ravnosti čeličnih ploča (mm) [7]

Nazivna debljina ploče	Kategorija L		Kategorija H	
	Duljina mjerenja			
	1000	2000	1000	2000
≥ 3 < 5	9	14	12	17
≥ 5 < 8	8	12	11	15
≥ 8 < 15	7	11	10	14
≥ 15 < 25	6	10	10	13
≥ 25 < 40	5	9	9	12
> 40 < 250	5	8	8	11

U ovom radu su u obzir uzeta nepovoljnija (veća) odstupanja od ravnosti ploča iz navedene norme, no za čelike debljine ≥ 5 mm. Rezanje čeličnih ploča tehnologijom plamenog rezanja nije predviđeno za ploče tanje od 6mm, pa se odstupanje od ravnosti za ploče tanje od 5mm iz tablice 6. može zanemariti.

U istoj normi se propisuje vrijednosti tolerancija ravnosti između bilo koje dvije točke na površini ploče. U nepovoljnijem slučaju odstupanja (h) ne smiju prelaziti 1,5% udaljenosti između dvije točke (D), kao što je prikazano na slici 13.



Slika 16. Tolerancije ravnosti ploča prema HRN EN 10029:2010

Iako su propisane i druge tolerancije mjera i oblika (tolerancije debljine, širine, duljine, zakrivljenosti rubova, kutnosti), one nemaju utjecaj na rad i sigurnost prilikom rada sa rezačem, pa nisu navedene.

4. Određivanje ciljanih karakteristika rezača

Utvrđivanjem zadovoljstva, odnosno nezadovoljstva korisnika/kupaca postojećih proizvoda, mogu se odrediti ciljane karakteristike rezača u razvoju. Do ocjene zadovoljstva može se doći anketiranjem ili intervjuiranjem kupaca.

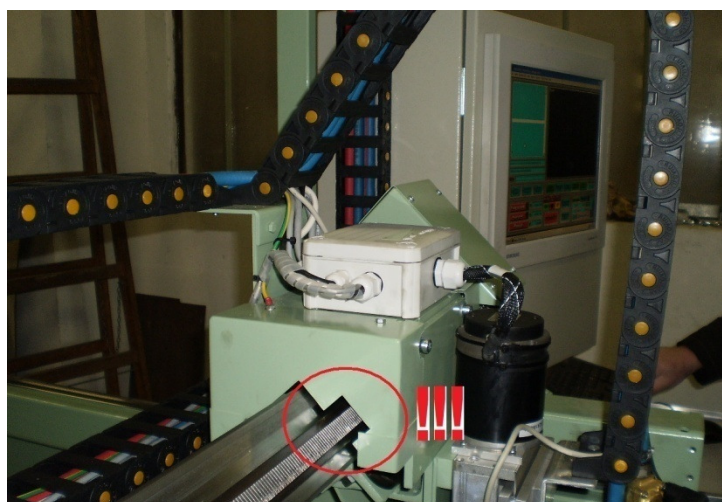
4.1. Određivanje korisničkih potreba

Korisnici plamenih rezača su najčešće zaposlenici u tvrtkama, stoga su intervjuirana dvojica zaposlenika tvrtke Metalac-PNT d.o.o. iz Bedekovčine koja proizvodi plamene rezače za vlastite potrebe i za prodaju. Njihovi odgovori i reakcije na pitanja su objedinjeni i prikazani u tablici 7. Dob zaposlenika je u trenutku intervjuiranja bila 27 i 55 godina.

Tablica 8. Intervjuiranje korisnika/kupca

Prepoznavanje potreba INTERVJUIRANJE KORISNIKA/KUPACA	<u>Naziv projekta:</u> <u>CNC prenosivi plameni rezač</u>		Datum: 3.2014.
Tip korisnika: Zaposlenik/radnik	Korisnik		Intervjuirao Igor Štefanić
Pitanje:	Odgovor:	Interpretacija potrebe:	Važnost:
Tipičan način korištenja proizvoda?	<ul style="list-style-type: none"> Rezanje čeličnih ploča 	<ul style="list-style-type: none"> CNC Rezanje čeličnih ploča različitih dimenzija i debljina prema zadanoj konturi 	<ul style="list-style-type: none"> Ključno
Što voli na postojećem proizvodu?	<ul style="list-style-type: none"> Čvrstoću Jednostavan program Ne treba održavati Stabilnost Dostupnost dijelova stroja Svaki izrezani dio jednak 	<ul style="list-style-type: none"> Krutost konstrukcije Jednostavnost korisničkog sučelja Vrlo malo obaveza oko održavanja i pripreme stroja za rad Stroj je stabilan Lako dostupni dijelovi predviđeni za izmjenu/servis Dobra ponovljivost 	<ul style="list-style-type: none"> Važno OK OK Važno OK Ključno

Što ne voli na postojećem proizvodu	<ul style="list-style-type: none"> • Mali G0 • Mogućnost dobivanja opekotina • Smeta za oči • Težak je • Teško vađenje izrezanih komada • Puno troske • Pucanje pri paljenju gorionika • Pri pritisku na tipku u nuždi ne gasi se gorionik • Otežano pozicioniranje 	<ul style="list-style-type: none"> • Premala brzina brzog posmaka • Ne postoji zaštita od približavanja gorioniku • Korisnik nije zaštićen od intenzivne svjetlosti plamena gorionika • Velika masa rezača • Prije uklanjanja ostatka ploče sa radnog stola treba ukloniti izratke • Nakon rezanja ostaje značajna količina troske • Gorionik se pali ručno (opasnost zbog mogućih opekline) • Tipka u slučaju nužde zaustavlja radne osi stroja, ali ne gasi gorionik • Otežano pozicioniranje ploče prije poč. rada 	<ul style="list-style-type: none"> • Važno • Važno • Važno • Ključno • Važno • OK • Važno • Važno • Važno
Prijedlog poboljšanja postojećeg proizvoda	<ul style="list-style-type: none"> • Olakšati demontažu stroja • Stroj učiniti lakšim i prenosivim • Dodatno zaštititi operatera od opekotina i sljepila • Povećati brzine radnih osi • Paljenje gorionika automatizirati 		<ul style="list-style-type: none"> • Važno • Važno • Važno • Važno • Važno

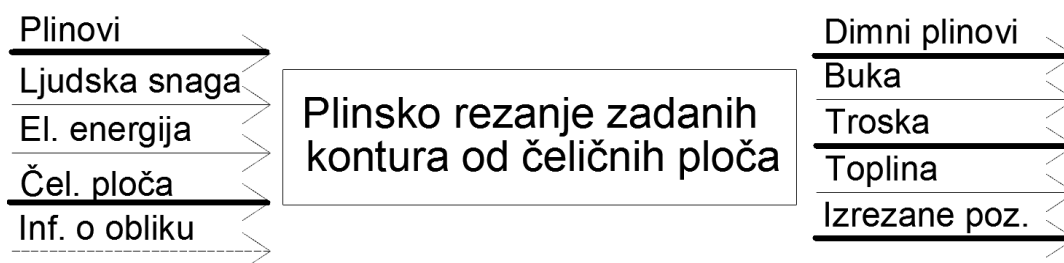


Slika 17. Opasnost od ozljede na postojećem stroju

5. Generiranje koncepta nosača

Da bi se prilikom procesa konstruiranja istražilo što više mogućih rješenja za pojedine funkcije/podfunkcije stroja i samim time odabrala najbolja kod generiranja koncepata, potrebno je napraviti funkcijsku strukturu stroja, te potom u morfološkoj matrici pobrojati sve nađene funkcije/podfunkcije i dati konkretna rješenja za ostvarenje pojedine. Funkcijska dekompozicija nam daje pregled nad funkcijama stroja te na taj način omogućava razvojnom timu kreativno pronalaženje inovativnih tehničkih rješenja.

Glavna funkcija stroja je PLAMENO REZANJE ZADANIH KONTURA IZ ČELIČNIH PLOČA. Da bi se ostvarila glavna funkcija stroja, potrebno je definirati podfunkcije. Podfunkcije stroja se definiraju iz ciljanih karakteristika i zahtjeva na proizvod. Ključna funkcija stroja je i mobilnost, no ta se funkcija može promatrati zasebno i ostvariti kod konstruiranja korištenjem materijala što manje gustoće (aluminij, polimeri, kompoziti,...) i kupovnih podsklopova što manje mase. Također, stroj mora imati mjesto predviđeno za prihvrat rukom - ručke ili oznake mjesta prihvata za vuču ili nošenje.

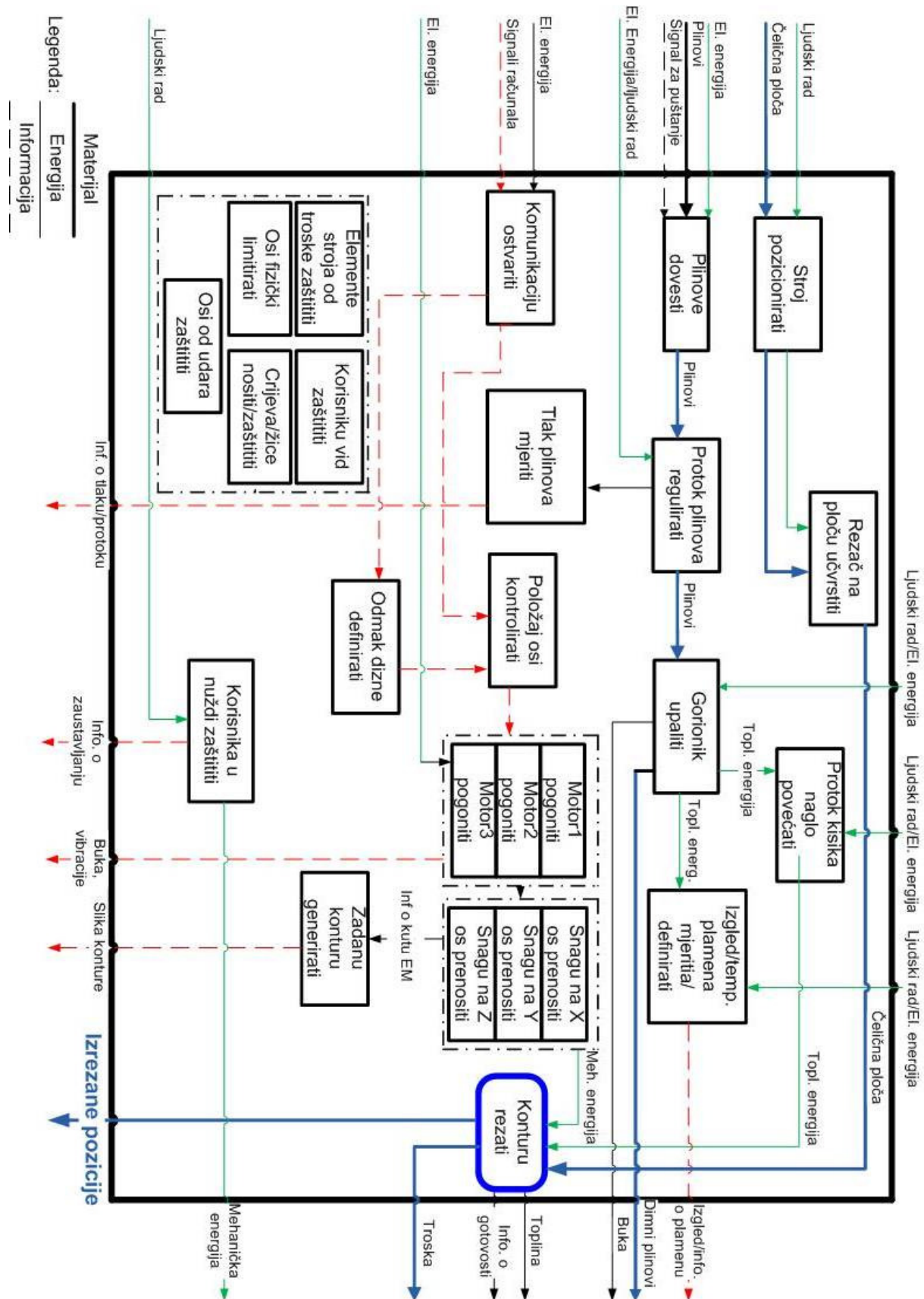


Slika 18. Glavna funkcija

5.1. Funkcijska dekompozicija

U funkcijskoj dekompoziciji stroja pobrojane su sve podfunkcije koje rezač mora zadovoljiti te je između njih dana veza. Za neke od podfunkcija koje su važne, a zadovoljene su samom konstrukcijom stroja, kao što je „*Crijeva/žice nositi*“, ne postoji ulaz materijala, energije ili informacije.

Za podfunkcije „*Gorionik upaliti*“ ili „*Protok kisika naglo povećati*“ i slične ostavljena je opcija da se zadovolji preko ljudskog rada ili električne energije, ovisno o danom rješenju u morfološkoj matrici.



Slika 19. Funkcijska dekompozicija

5.2. Morfološka matrica

U tablici 9. predložena su rješenja za podfunkcije stroja dane u funkcijskoj dekompoziciji. Rješenja su ilustrativnog karaktera.

Tablica 9. Morfološka matrica

Funkcija stroja	Rješenje 1	Rješenje 2	Rješenje 3	Rješenje 4	Rješenje 5
Os x pogoniti					
Os y pogoniti					
Os z pogoniti					
Plinove dovesti			 PE 80 / PE 100 Cijevi za plin		
Zadanu konturu generirati					
Komunikaciju ostvariti					

Crijeva/žice nositi, zaštititi					
Položaj osi kontrolirati					
Korisniku vid zaštititi		Štitnik na gorioniku			
Elemente stroja od troske štititi	Pregradama, limovima				
Rezač na ploču učvrstiti					
Gorionik upaliti					
Protok plinova regulirati					
Protok kisika naglo povećati(rezni kisik)					

Snagu na x os prenositi					
Snagu na y os prenositi					
Snagu na z os prenositi					
Osi od udara zaštititi					
Osi fizički limitirati	Zaštitni limovi/ graničnici				
Stroj pozicionirati	Distance osi/ profili za distanciranje				
Odmak dizne definirati		Mjerenjem položaja na monitoru			
Temperatu ru/izgled plamena mjeriti/defi nirati					
Tlak plinova mjeriti					

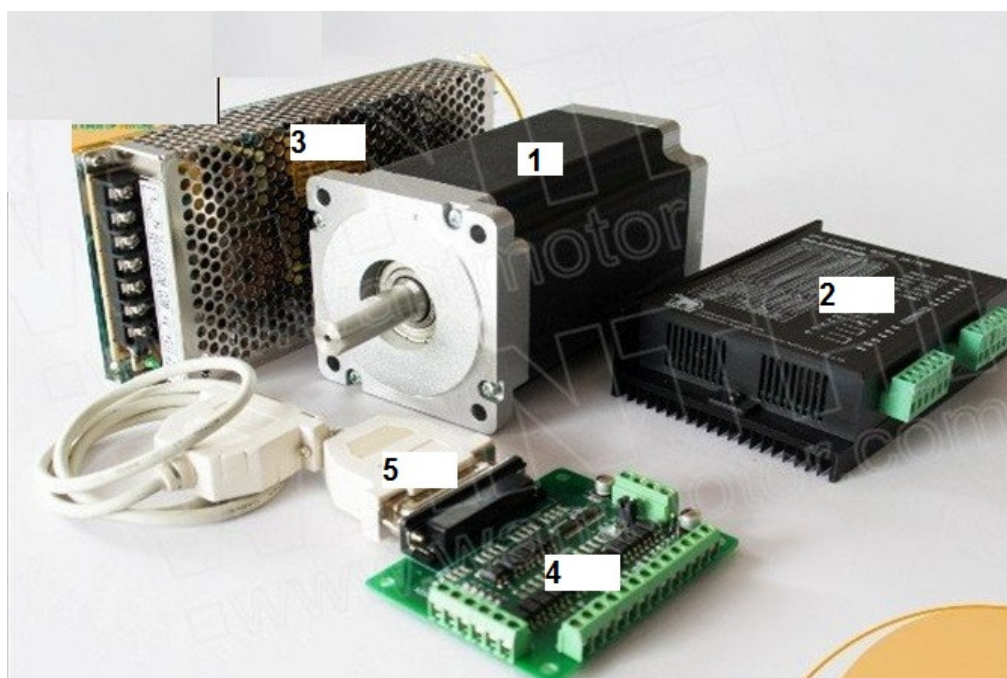
Korisnika u
nuždi
zaštititi



5.2.1. „Komunikaciju ostvariti“-upravljačka elektronika i MACH3

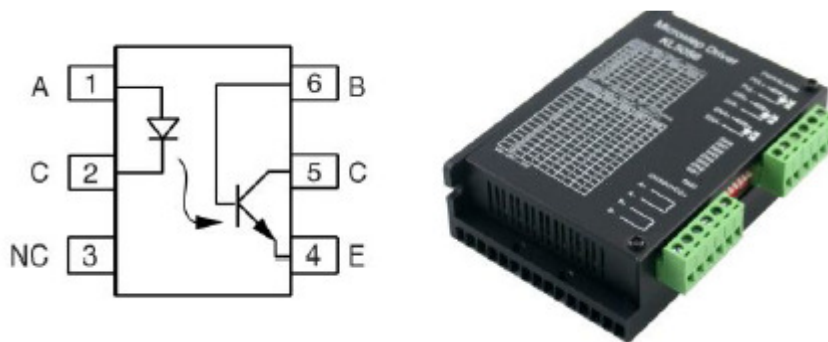
Za komunikaciju između osobnog računala, odnosno upravljačkog programa i motora na rezaču potrebna je upravljačka elektronika. Zbog jednostavnosti upravljanja, ali prije svega i zbog cijene koštanja, kod koncipiranja rezača najbolje je između tri ponuđene opcije u morfološkoj matrici odabrati koračne rotacione ili linearne motore za pogon sve tri osi. Za upravljanje koračnim motorima kod CNC strojeva postoji mnoštvo komercijalnih upravljačkih komponenti (eng. drivera), ili čak sheme za izradu. Kod odabira koračnog motora, proizvođač najčešće i sam preporučuje upravljačku elektroniku. Ta elektronika može i ne mora biti od tog istog proizvođača.

Da bi upravljačka komponenta zadovoljila, mora biti u mogućnosti dati struje koje su potrebne za ostvarivanje maksimalnog proračunatog momenta motora pri pokretanju. Na slici 19. prikazan je set motora (1), upravljačke elektronike (2) i napajanja (3) za pogon osi ozbiljnijih CNC strojeva. Kineski proizvođač Changzhou je set proizveo prema međunarodnim standardima. Jedan od standarda je i NEMA (eng. National Electrical Manufacturers Standard) koji je opisan u 2.4.1.1.



Slika 20. Set koračnog motora, napajanja i upravljačke elektronike

Kako bi se upravljačka jedinica spojila sa računalom preko paralelnog porta (LPT), potreban je još jedan elektronički dio, koji je vidljiv na slici 19 pod brojem 4 - Eng. Breakout bord. Da bi se matična ploča računala zaštitila od mogućeg strujnog udara zbog nekvalitetne elektronike ili krivog spoja koristi se ta elektronička komponenta koja se uglavnom sastoji od tzv. opto-izolatora koje čini infracrvena LED (*eng. Light emitting diode*) i fototranzistor (slika 20).[1]



Slika 21. Opto-izolator (shema lijevo) i komercijalni driver (desno) [1]

Za gore navedene elektroničke komponente, na nosivoj konstrukciji rezača potrebno je predvidjeti mjesto na koje će se učvrstiti i zaštititi od prašine, troske i topline. Dimenzije komponenti ovise o zahtijevanim snagama elektromotora.

Nakon pravilnog spajanja koračnih motora sa napajanjem i elektroničkim komponentama te računalom, potrebno je instalirati i konfigurirati programski paket MACH3. MACH3 je programski paket koji svako računalo sa serijskim ili paralelnim portom može pretvoriti u CNC kontroler. Ukoliko je potrebno koristiti MACH3, a nismo u mogućnosti platiti licencu, sa službenih stranica može se preuzeti probna inačica, koja za neko vrijeme, ukoliko se licenca ne plati i ne aktivira paket, prestaje sa radom. Cijena paketa MACH3 je 175 američkih dolara. Postoji i naprednija MACH4 verzija paketa, koja je u fazi razvoja. Sa službenih stranica je moguće preuzeti demo verziju MACH4 besplatno.

Osnovne značajke MACH3 softverskog paketa su:

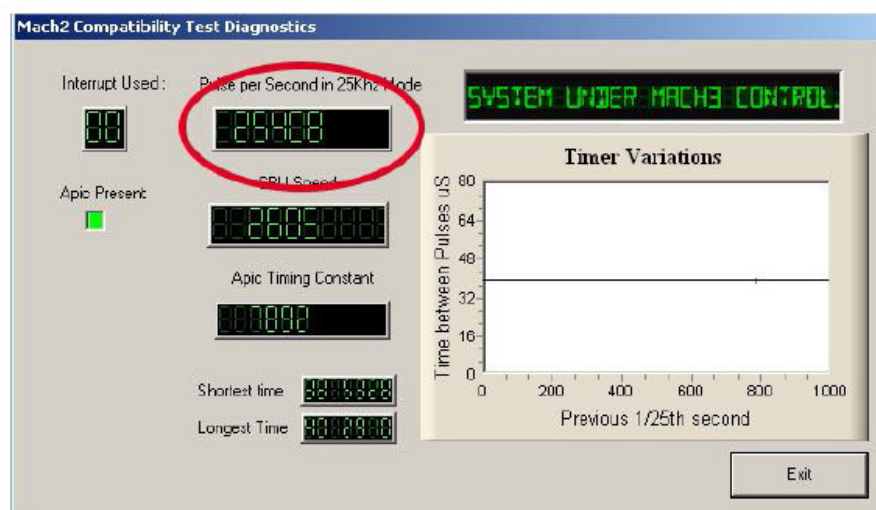
- kontrola do 6 osi
- vizualni zaslon G-koda
- kontrola brzine vrtnje alata
- višestruka relej kontrola
- ručno generiranje impulsa (brzina i vrijeme trajanja)

-unos DXF, BMP, JPG, HPGL formata preko LazyCam-a

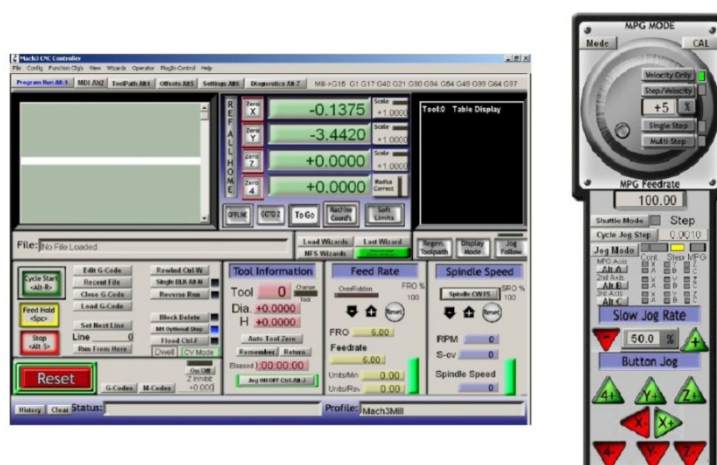
-generiranje G-koda preko dodatnih čarobnjaka (dodatno se plaća licenca)

Pri instalaciji programa, osim sučelja za glodanje i tokarenje, dostupno je i sučelje za rezanje kontura. U ovom radu je u nastavku ukratko objašnjeno inicijalno podešavanje motora i puštanje u probni rad.

Nakon instalacije i ponovnog pokretanja računala pokrećemo *DriverTest.exe* aplikaciju. Ta aplikacija vrši test kompatibilnosti programskog paketa MACH 3 sa računalom. Pojavljuje se prozor na kojem je potrebno provjeriti vrijednost *Pulses per seconds* (slika 21) i koja se mora kretati oko 25kHz. Pokretanjem programa nakon instalacije, najprije se mora podesiti način komunikacije računala, te se odabire *Normal Printer port Operation*. Nakon toga se pojavi početni prozor (slika 22).

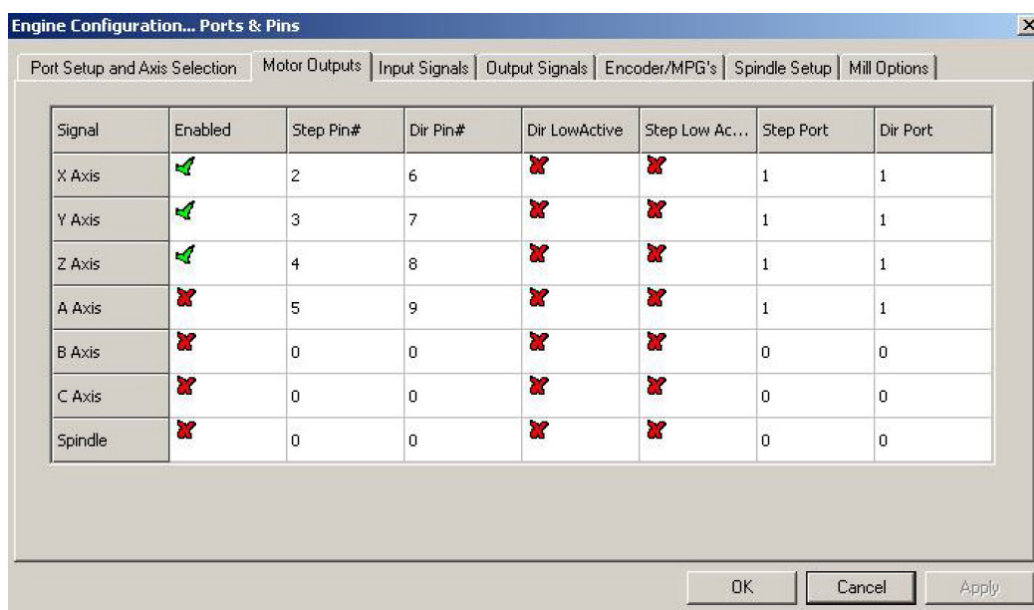


Slika 22. *DriverTest.exe* - prozor [1]



Slika 23. Početni prozor programa Mach 3 i Jog Control prozor [1]

Prije prvog pokretanja osi, potrebno je izvršiti početna podešavanja motora. Osim motora, potrebno je podesiti i metrički sustav jedinica odabirom *Config/Select Native Units*. U istom izborniku pod *Ports and Pins* podešavaju se ulazi i izlazi LPT i njihove adrese. Podešavanje motora se vrši preko prozora prikazanog na slici 23 i slici 24. Potrebno je podesiti brzine sustava (*Kernel speed*), koja se u Mach 3 kreće od 25 kHz do 100 kHz. Veće brzine sustava su potrebne kod motora sa manjim koracima, odnosno većom rezolucijom kao što su motori vretena. Kao što je prikazano na slici 23. na kartici *Motor Outputs* se definiraju izlazi na LPT (*Step Pin#* - pin za brzinu, *Dir Pin#* - pin za smijer) za pojedine osi. Pod *Input Signals* definiramo ulazne pinove za tzv. *E-stop* ili zaustavljanje u slučaju nužde, mikroprekidače kao graničnike i dr. Osim mikroprekidačima radne granice stroja se mogu podesiti jednostavnim unosom minimalnih i maksimalnih vrijednosti za pojedinu os u izborniku *Config/HomeLimits*. Takve su granične vrijednosti poznate pod nazivom *Soft Limits*.



Slika 24. Prozor za podešavanje pinova [1]

Kako bi se izbjegle vibracije i postigao stabilan rad motora, odnosno jednoliko gibanje, potrebno je podesiti ubrzanja i brzine motora (slika 24.). Kod ubrzanja (zaustavljanja) motora potrebno je obratiti pozornost na mogućnosti motora i elemenata prijenosa gibanja koja su istaknuta u konstrukcijskoj razradi. Podešavanje dinamike motora vrši se u izborniku *Motor Tuning and Setup*. U istom se izborniku definira i vrijednost *koraka po jedinici duljine*. Kako bi se odredila ta vrijednost, potrebno je provesti kratki proračun koji ovisi o vrsti elementa

prijenosa/pretvorbe snage motora na linearno gibanje osi. Ako je u konstrukcijskoj razradi odabran koračni motor bez reduktora kao rješenje, a za prijenos snage kuglično navojno vreteno uspona navoja 5mm, onda se broj koraka može izračunati prema formuli:

$$N_k = \frac{P_M}{P},$$

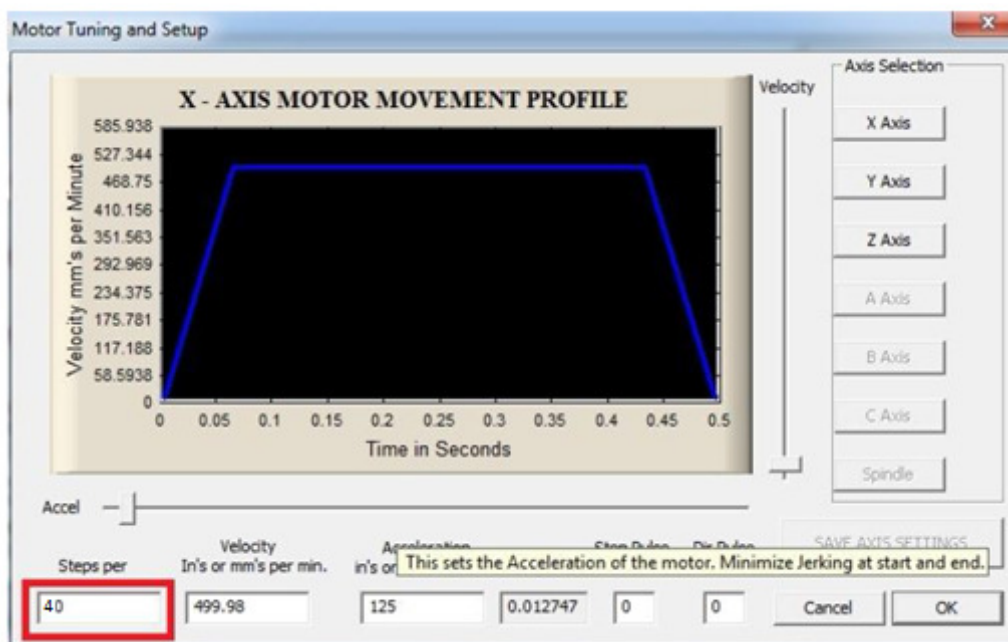
gdje je P_M broj koraka po okretaju motora, a P uspon vretena. Broj koraka po okretaju motora (razlučivost) se može naći u specifikacijama motora. U specifikacijama se može umjesto tzv. razlučivosti naći podatak o jednom koraku motora p_m , pa se iz njega može izračunati broj koraka po okretaju. Za primjer:

$$p_m = 1,8^\circ,$$

$$P_M = \frac{360^\circ}{1,8^\circ} = 200.$$

Uvršteno u jednadžbu (1):

$$N_k = \frac{200}{5} = 40 \text{ koraka.}$$



Slika 25. Prozor za podešavanje motora [1]

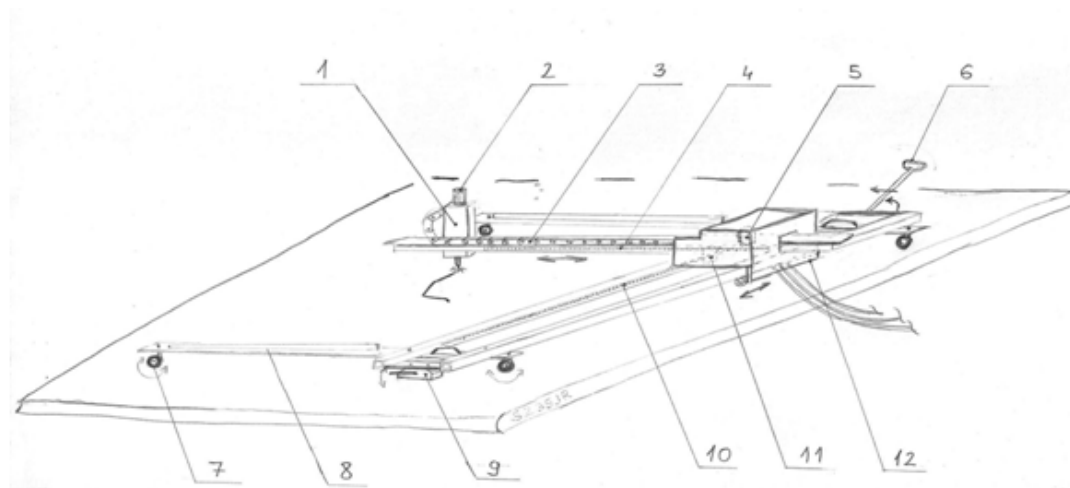
5.2.1.1. „Charge pump“ zaštita operatera i stroja

Kako se rezačem upravlja pomoću programskog paketa instaliranog na osobno/prijenosno računalo ili neki drugi „vanjski“ uređaj preko LPT, tokom komunikacije može doći do nenadanog ponovnog pokretanja ili gašenja tog računala. To može izazvati nepredvidive signale na pinovima koji mogu dovesti do neželjenih gibanja stroja. Pritom

postoji opasnost od oštećivanja stroja ili ozljeđivanja operatera. Da bi se takva neželjena gibanja spriječila, takvi strojevi moraju imati mehanizam zaštite pod nazivom „*Charge pump*“. Taj mehanizam se postavlja preko jednog od slobodnih LPT pinova u izborniku *Ports and Pins->Output Signals* pod nazivom „*Charge Pump*“ Dok je računalo uključeno i program pokrenut, na tom pinu se generira pravokutni signal frekvencije 12,5 kHz. Kada tog signala nema, preko jednostavne elektroničke komponente je onemogućena komunikacija s upravljačkom elektronikom.

5.3. Koncept 1

Nosiva konstrukcija prvog koncepta (slika 26.) izvedena je konzolno od standardnih profila Al legure. Kompletan masa X osi oslanja se na nosače (8), na kojima se nalaze kotačići za vuču (7). Rezač se učvršćuje na ploču pomoću industrijskih magneta koji su uobičajeno namijenjeni za dizalice (9). Prijenos snage s motora na X i Y os osiguran je pomoću zupčanika i zubne letve (10 i 4). Prijenos snage za pokretanje Z osi izvodi se pomoću standardnog „linearnog stola“ sa kugličnim navojnim vretenom (1). Crijeva za plinove i kablovi su osigurani sa standardnim vodilicama (3). U kućištu (12) koje ujedno služi i kao element uklještenja X osi se nalaze oba pogonska motora za X i Y os (5 i 11). Obje osi u ravni ploče se gibaju po standardnim kliznim stazama koje osiguravaju dodatnu krutost konstrukcije. Na Z os je ugrađen standardni gorionik proizvođača *Harris* namijenjen strojnom rezanju. Ručka (6) mora biti smještena tako da je moguća jednolika vuča rezača do ploče.



Slika 26. Elementi koncepta 1

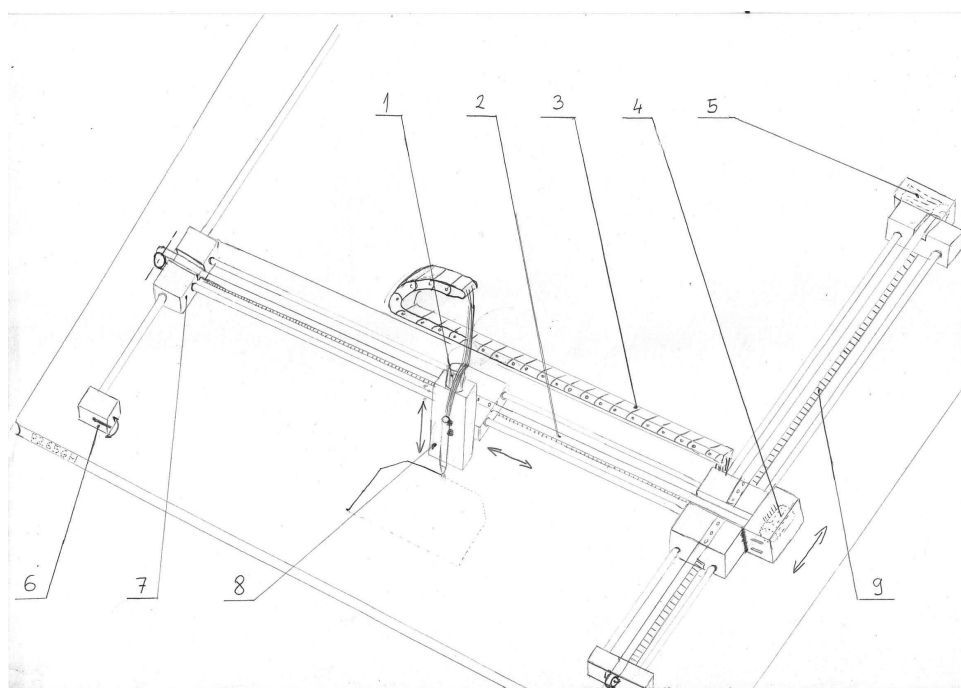
Velika prednost osmišljenog koncepta je u upotrebi standardnih oblika (profila) materijala i gotovih kupovnih standardiziranih dijelova. Tu spadaju nosivi aluminijski T

profili, pravokutni aluminijski profili, zubne letve sa zupčanicima, klizne staze, magneti za učvršćivanje, linearni stol Z osi, gorionik, kotačići, vodilica crijeva i kablova i dr.

Kao osnovni nedostatak odmah u početku može se primijetiti nedostatak krutosti i stabilnosti konstrukcije koja je izvedena kao konzolna. Iako su deformacije konstrukcije dozvoljene u većoj mjeri nego kod ostalih CNC strojeva, postoji opasnost da se konstrukcija u najnepovoljnijem položaju deformira u toj mjeri da dolazi do greške u dimenzijama izrezane pozicije. Da bi se to pokušalo izbjeći, potrebno je proračunati progibe nosača. Tim proračunom bi se osigurala točnost rezača, ali bi se i povećala masa, a to nikako nije cilj.

5.4. Koncept 2

Na idejnoj skici drugog koncepta (slika 27.) mogu se odmah primijetiti sličnosti sa prvim konceptom. Osnovna razlika između prva dva koncepta je u prijenosu snage za pogon X i Y osi, uležištenju i vođenju osi. X-os više nije konzolno učvršćena. Nema standardnih kliznih staza kao u prvom konceptu, već za vođenje služe ležajevi za linearna gibanja (*eng. linear motion bearing*) (slika 28.). Ležajevi se nalaze u kliznom kućištu (7) i klizu po šipkama ili debelostjenim cijevima. Treba uzeti u obzir da je te šipke/cijevi moguće izvesti od Al legura sa tvrdo anodiziranom površinom kako bi se smanjila ukupna masa rezača. (tvrda anodizacija aluminija opisana u 5.4.1.). Šipke su na desnoj strani skice položene jedna do druge da bi gibanje stroja tokom rada bilo osigurano od vibracija izazvanih zapinjanjem vodilica. Za svako uležištenje predviđena su po dva ležaja za linearna gibanja.



Slika 27. Elementi koncepta 2

Za prijenos snage na X i Y os služe remeni prijenosi visoke preciznosti (2), čije značajke su opisane u 2.4.4.1. Remeni su pogonjeni koračnim elektromotorima preko standardiziranih remenica. Remeni su otvorenog tipa, a krajevi su učvršćeni na kliznom kućištu s gornje strane. Na kućištu elektromotora je potrebno predvidjeti mehanizam za prednaprezanje remena. Snaga za pokretanje Z osi se dovodi kao i kod koncepta 1, preko linearnog stola sa kugličnim navojnim vretenom (1). Kablovi i crijeva su zaštićeni i vođeni pomoću standardizirane vodilice. Ugrađen je gorionik Harris za strojno rezanje. Rezač se oslanja na nosače (6) u koje su ugrađeni industrijski magneti koji služe za učvršćivanje rezača na ploču.



Slika 28. Ležaj za linearna gibanja

5.4.1. *Tvrdo anodiziranje Al-legura*

Tvrdo anodiziranje (često se koristi pogrešan termin eloksiranje) se provodi u svrhu povećavanja površinske tvrdoće, otpornosti na trošenje i koroziju Al legura. Postupak se može provoditi i zbog estetskih zahtjeva.

Postupak se provodi elektrolizom sumporne kiseline. Na anodi (alumijski dio kojem je potrebno poboljšati svojstva površine) se izlučuje kisik. Taj kisik povećava debljinu postojećeg površinskog oksidnog sloja aluminijskog oksida (Al_2O_3). Debljina oksidnog sloja na aluminiju pri sobnoj temperaturi je oko $1\mu m$. Postupkom tvrdog anodiziranja, taj se sloj može povećati i do $150\mu m$, ovisno o trajanju postupka. Kao što je već rečeno aluminijev oksid se odlikuje tvrdoćom i otpornošću na trošenje, pa tako i tvrdo anodizirana površina aluminijska. Moguće je postići površinsku tvrdoću do 70HRC. [8]

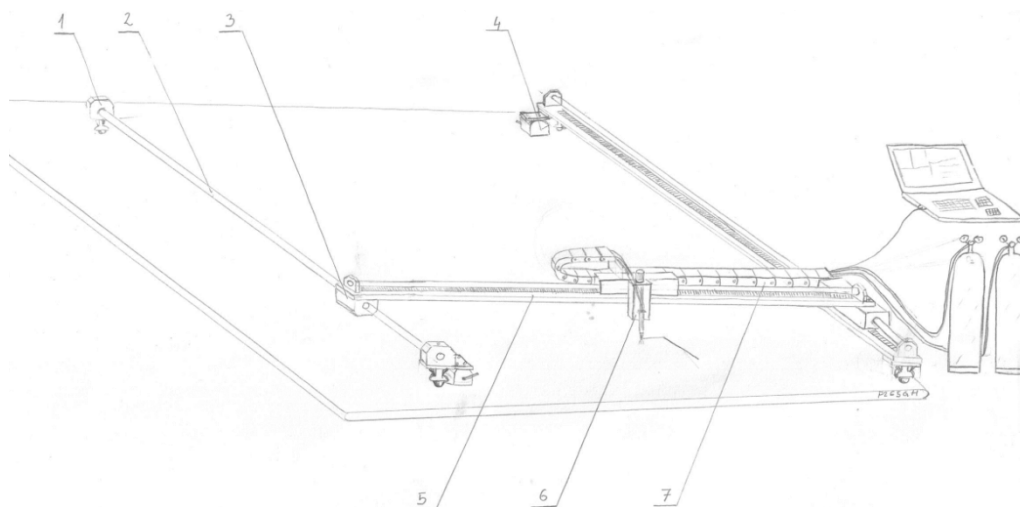


Slika 29. Tvrdo anodizirana glava dvotaktnog motora

Tokom postupka tvrdog anodiziranja površine aluminija, gube se dimenzije obratka i to na način da se za debljinu sloja T_s dimenzija poveća za $0,5T_s$ po stijenci. Zbog toga treba prije postupka dimenzije prilagoditi tom tehnološkom postupku i naknadno predvidjeti obradu odvajanjem čestica-brušenje. Pritom je potrebno paziti na preostalu debljinu sloja Al_2O_3 . [16]

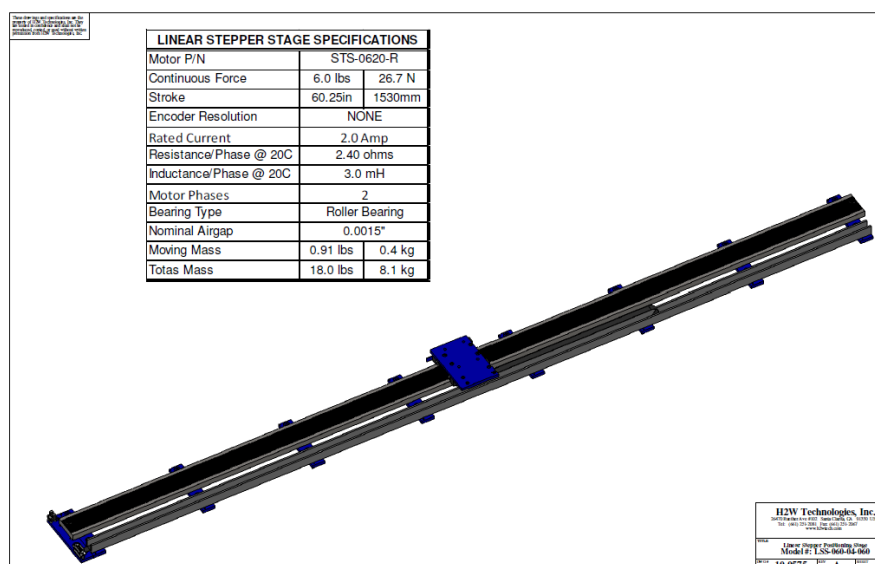
5.5. Koncept 3

Na slici 30. je prikazana idejna skica koncepta 3. Za pogon osi X i Y se koriste dugački linearni koračni motori, kao što je motor tvrtke H2W Technologies. Hod motora prikazanog na slici 31. iznosi čak 1530mm. S druge strane motora nalazi se klizno kućište (3) sa ležajevima za linearna gibanja kao kod koncepta 2. Ležajevi se gibaju također po šipki/debelostjenoj cijevi. Prijenos snage za gibanje Z-osi izvodi se kao i u prethodna dva primjera linearnim stolom sa kugličnim navojnim vretenom (6). Vođenje kablova i crijeva osigurano je standardiziranim vodilicama (7). Šipke se dosljednim vijcima učvršćuju u nosače (1). Učvršćivanje na ploču izvodi se industrijskim magnetima (4).



Slika 30. Elementi koncepta 3

Kod koncepta 3 na linearne koračne motore može se gledati i kao na prednost i kao na nedostatak. Njihovom ugradnjom riješio bi se problem pogona, prijenosa snage i vođenja. Kako za linearnim koračnim motorima još uvijek ne postoji dovoljno velika potražnja da bi se osigurala masovna proizvodnja i niska cijena, njihova ugradnja bi u konačnici rezaču višestruko povećala cijenu.



Slika 31. Linearni koračni motor H2W Technologies.[12]

5.6. Vrednovanje i odabir konceptata

Da bi se između gore navedenih konceptata odabrao najbolji i sa njime krenulo u daljnju razradu, detaljiranje i proračunavanje nestandardnih dijelova, potrebno je provesti njihovo vrednovanje. Za svaki od konceptata se procjenjuje koliko je zadovoljio navedene najbitnije zahtjeve i daje mu se pozitivna +, neutralna 0 ili negativna - ocjena. Zbrajanjem ocjena na kraju dolazi se do najboljeg rješenja.

Tablica 10. Vrednovanje konceptata

	Koncept 1	Koncept 2	Koncept 3
Mobilnost	0	+	0
Masa	-	+	-
Upotreba stand. dij.	+	0	0
Složenost konstrukcije	-	+	0
Krutost konstrukcije	-	0	0
Cijena izrade	+	0	-
Utjecaj na okoliš	-	0	0
UKUPNO:	-2	+3	-2

Nakon ocjenjivanja, nedvojbeno je najbolje rješenje koncept 2 sa ocjenom +3 koji se u daljnjem tekstu naziva Cutter Master 1500 ili skraćeno CM1500. Značajke osmišljenih strojeva u pogledu zadovoljenja zahtjeva navedenih u tablici 10 dale su se naslutiti već iz opisa svakog od pojedinih koncepata. Značajke za koje CM1500 nije dobio pozitivnu ocjenu su „Upotreba standardnih dijelova“, „Cijena izrade“, „Krutost konstrukcije“ i „Utjecaj na okoliš“. U koncipiranju se jako puno pažnje posvetilo smanjenju mase rezača zbog mobilnosti. Da bi se masa smanjila predviđeni su dijelovi koji zahtijevaju više tehnoloških operacija tokom proizvodnje. Kao rezultat su smanjene ocjene za upotrebu standardnih dijelova i cijenu izrade. Krutost konstrukcije je zbog korištenja dijelova od aluminijskih legura također smanjena, no u daljnjoj razradi pazit će se na to da zadovoljava uz pretpostavljene koeficijente sigurnosti.

6. Konstrukcijska razrada

CM1500 se može podijeliti na nekoliko složenijih funkcionalnih podsklopova koji nisu standardni kupovni dijelovi, pa ih je potrebno osmisliti, a neke i proračunati. Ti će se podsklopovi u konačnici, naravno, razlikovati od dolje osmišljenih skica. Ključne pozicije za daljnju razradu mogu se podijeliti na:

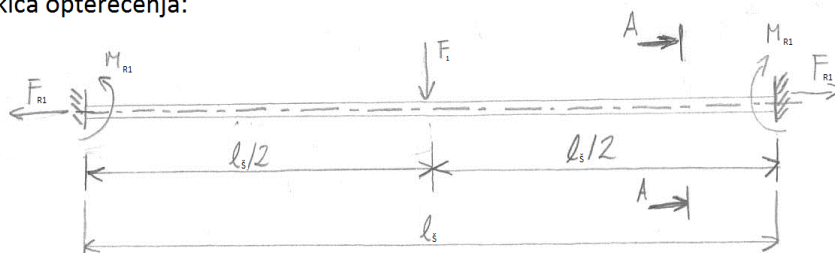
- aluminijske šipke
- nosač šipki i koračnog motora
- nosač šipke i magneta
- klizači
- kućište koračnog motora X i Y osi
- nosač Z-osi
- nosač remenice

Ostale manje jednostavnije pozicije poput štitnika za oči od svjetlosti plamena gorionika biti će osmišljene u toku 3D modeliranja.

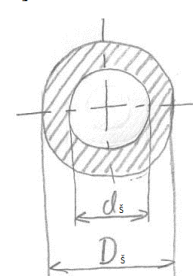
6.1. Aluminijska šipka Y-osi

Potrebno je razmotriti mogućnost da se nosive šipke izrade od debelostijene standardne cijevi radi smanjenja mase, jeftinije proizvodnje i jednostavnije nabave materijala.

Skica opterećenja:



Presjek A-A



Slika 32. Pojednostavljeni prikaz opterećenja šipke

Duljina šipke sa dodatkom za klizač:

$$l_{s1} = 1500\text{mm} + 150\text{mm} = 1650\text{mm}$$

Sila u najnepovoljnijem položaju klizača koja djeluje na jednu šipku:

$$F_1 = \frac{m_{\text{pret}} \cdot g}{2} = \frac{25\text{kg} \cdot 9,81\text{ m/s}^2}{2} \approx 123\text{N}$$

$$D_{\dot{s}1}, d_{\dot{s}1} = ?$$

Kao maksimalni pretpostavljeni progib šipke može se uzeti vrijednost koja nema značajnog utjecaja na kvalitetu reza, budući da se ostali pomaci (u smjerovima X i Y osi) mijenjaju zanemarivo s obzirom na dodatak za obradu. Kako je osjetljivost plamenog rezanja na udaljenost dizne gorionika od ploče dovoljno niska, može se pretpostaviti maksimalni progib šipke:

$$f_{\dot{s}1} = 1mm$$

$$f_{\dot{s}1} = \frac{F_1}{E_{Al} \cdot I_{\dot{s}1a}} \cdot \frac{l_{\dot{s}1}}{192}$$

$$0,001m = \frac{123N}{70000 \cdot 10^6 MPa \cdot I_{\dot{s}1a}} \cdot \frac{1,65^3 m^3}{192} / \cdot I_{\dot{s}1a} / \div 0,001$$

$$I_{\dot{s}1a} = 4,11 \cdot 10^{-8} m^4$$

$$I_{\dot{s}1a} = \frac{\pi}{64} \cdot (D_{\dot{s}1}^4 - d_{\dot{s}1max}^4) = 4,11 \cdot 10^{-8} m^4$$

$$D_{\dot{s}1}^4 - d_{\dot{s}1max}^4 = 4,11 \cdot 10^{-8} m^4 \cdot \frac{\pi}{64} = 2,017 \cdot 10^{-9} m^4 / \sqrt[4]{}$$

$$D_{\dot{s}1} - d_{\dot{s}1max} = 6,7 \cdot 10^{-3} m$$

$$\text{Za } D_{\dot{s}1} = 0,04m$$

$$0,04m - d_{\dot{s}1max} = 6,7 \cdot 10^{-3} m$$

$$d_{\dot{s}1max} = 0,034m.$$

Tablica 11. Podaci za nabavu materijala za izradu nosive šipke

Materijal	AlSiMg, (Al 6005)
Vlačna čvrstoća R_m	170N/mm ²
Granica razvlačenja $R_{p0,2}$	105N/mm ²
Vanjski promjer $D_{\dot{s}1}$	0,04m
Unutarnji promjer $d_{\dot{s}1}$	0,03m
Debljina stijenke $T_{\dot{s}1}$	5mm
Ukupna duljina $L_{\dot{s}uk1}$	5·1,8m=9m
Ukupna masa šipki $m_{\dot{s}uk1}$	13,36kg

Dodatna provjera maksimalnog naprezanja prilikom savijanja šipke:

$$\sigma_{\dot{s}1MAX} = \frac{M_{\dot{s}1MAX} \cdot e}{I_{\dot{s}1}} = \frac{\frac{F_1 \cdot l_{\dot{s}1}}{8} \cdot e}{\frac{\pi}{64} \cdot (D_{\dot{s}1}^4 - d_{\dot{s}1}^4)} = \frac{\frac{123N \cdot 1,65m}{8} \cdot 0,02m}{\frac{\pi}{64} \cdot (0,04^4 - 0,03^4)}$$

$$\sigma_{\dot{s}1MAX} = 5,9 N/mm^2 - \text{ZADOVOLJAVA!}$$

6.2. Aluminijska šipka X-osi

S ciljem smanjenja mase rezača, šipke X-osi će biti proračunate nezavisno od šipki Y-osi jer nose manju masu. Šipke X-osi nose masu klizača, linearnog stola, koračnog motora i gorionika. Proračun se provodi analogno proračunu šipki Y-osi.

Duljina šipke sa dodatkom za klizač:

$$l_{\text{š2}} = 1500\text{mm} + 150\text{mm} = 1650\text{mm}$$

Sila u najnepovoljnijem položaju klizača koja djeluje na jednu šipku:

$$F_2 = \frac{m_{\text{pret2}} \cdot g}{2} = \frac{10\text{kg} \cdot 9,81\text{ m/s}^2}{2} \approx 49\text{N}$$

$$D_{\text{š2}}, d_{\text{š2}} = ?$$

Kao i u prethodnom proračunu, pretpostavljamo progib šipke od 1mm. Naknadno se za izradu šipke odabire debelostjena cijev čija stjenka je zbog sigurnosti deblja od minimalne proračunate za barem 25%.

$$f_{\text{š2}} = 1\text{mm}$$

$$f_{\text{š2}} = \frac{F_2}{E_{\text{Al}} \cdot I_{\text{š2a}}} \cdot \frac{l_{\text{š2}}}{192}$$

$$0,001\text{m} = \frac{49\text{N}}{70000 \cdot 10^6\text{MPa} \cdot I_{\text{š2a}}} \cdot \frac{1,65^3\text{m}^3}{192} / \cdot I_{\text{š2}} / \div 0,001$$

$$I_{\text{š2a}} = 1,64 \cdot 10^{-8}\text{m}^4$$

$$I_{\text{š2a}} = \frac{\pi}{64} \cdot (D_{\text{š2}}^4 - d_{\text{š2max}}^4) = 1,64 \cdot 10^{-8}\text{m}^4$$

$$D_{\text{š2}}^4 - d_{\text{š2max}}^4 = 1,64 \cdot 10^{-8}\text{m}^4 \cdot \frac{\pi}{64} = 8,05 \cdot 10^{-10}\text{m}^4$$

$$D_{\text{š2}} - d_{\text{š2max}} = 5,33 \cdot 10^{-3}\text{m}$$

$$\text{Za } D_{\text{š2}} = 0,025\text{m}$$

$$0,025\text{m} - d_{\text{š2max}} = 5,33 \cdot 10^{-3}\text{m}$$

$$d_{\text{š2max}} = 0,02\text{m}.$$

Tablica 12. Podaci za nabavu materijala za izradu nosive šipke

Materijal	AlSiMg, (Al 6005)
Vlačna čvrstoća R_m	170N/mm^2
Granica razvlačenja $R_{p0,2}$	105N/mm^2
Vanjski promjer $D_{\text{š1}}$	$0,025\text{m}$
Unutarnji promjer $d_{\text{š2}}$	$0,015\text{m}$
Debljina stijenke $T_{\text{š1}}$	5mm
Ukupna duljina $L_{\text{šuk1}}$	$2 \cdot 1,8\text{m} = 3,6\text{m}$
Ukupna masa šipki $m_{\text{šuk1}}$	$3,05\text{kg}$

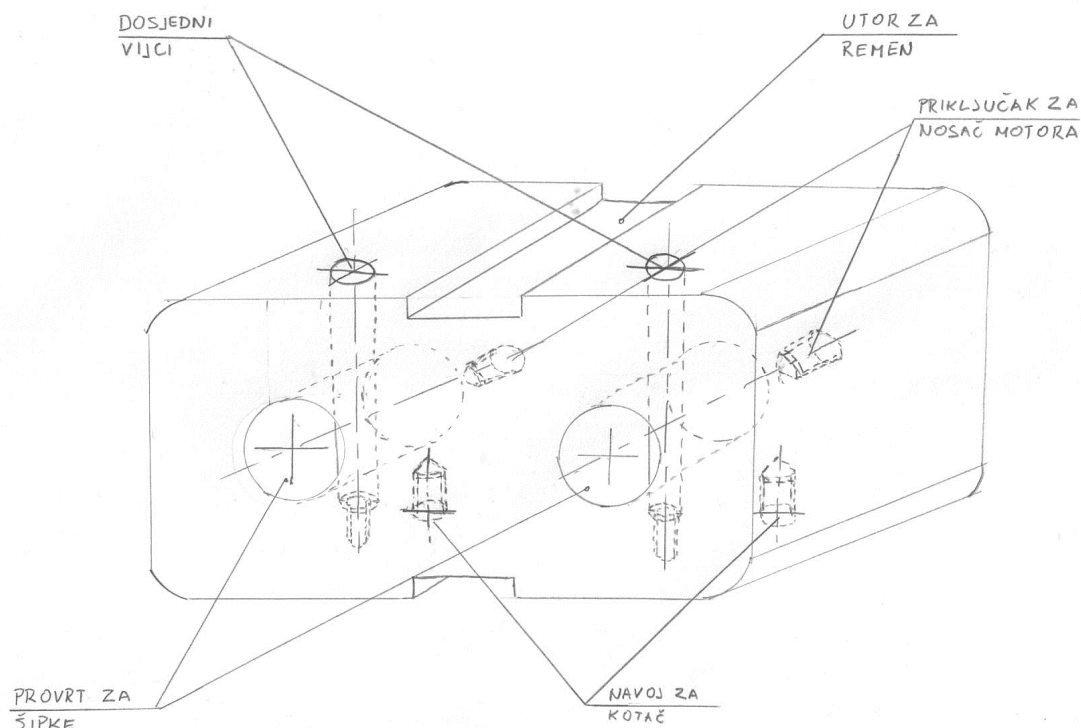
Dodatna provjera maksimalnog naprezanja prilikom savijanja šipke:

$$\sigma_{\text{š2MAX}} = \frac{M_{\text{š2MAX}} \cdot e_{\text{š2}}}{I_{\text{š2}}} = \frac{\frac{F_2 \cdot l_{\text{š2}}}{8} \cdot e_{\text{š2}}}{\frac{\pi}{64} \cdot (D_{\text{š2}}^4 - d_{\text{š2}}^4)} = \frac{\frac{49\text{N} \cdot 1,65\text{m}}{8} \cdot 0,0125\text{m}}{\frac{\pi}{64} \cdot (0,025^4 - 0,015^4)}$$

$$\sigma_{\text{š2MAX}} = 7,6\text{ N/mm}^2\text{-ZADOVOLJAVA!}$$

6.3. Nosač šipki i koračnog motora

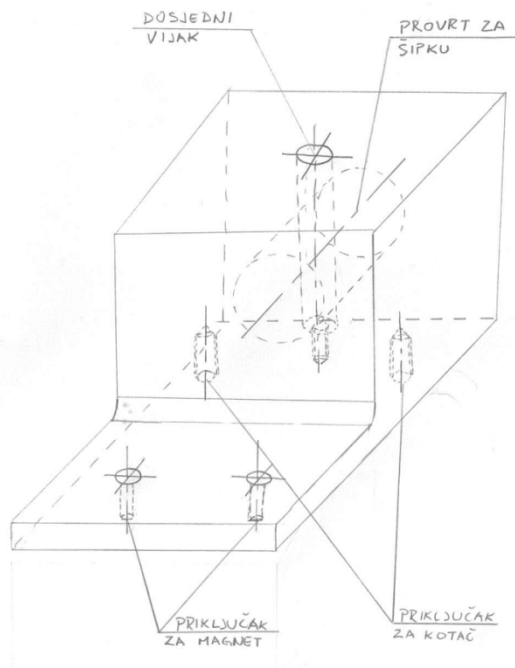
Svaka šipka mora biti montirana dosjedinim vijcima zbog izbjegavanja zračnosti i osiguravanja pozicioniranja. Provrti za šipku moraju biti izrađeni u toleranciji H6. S donje strane svakog nosača potrebno je predvidjeti montažu standardnih kotača za vožnju, a s vanjske strane način montaže nosača elektromotora. Materijal za izradu je AlSiMg.



Slika 33. Skica nosača šipki i koračnog motora

6.4. Nosač šipke i magneta

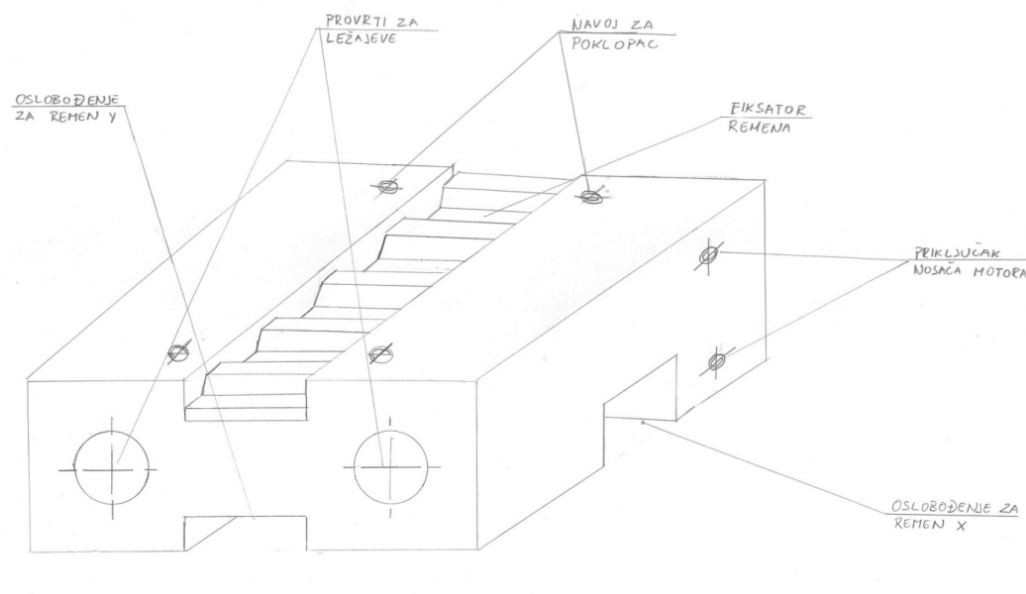
Kao i za prethodno opisani nosač i za izradu nosač šipke i magneta odabrana je legura aluminija AlSiMg. Uz priključak za kotač, ovaj nosač mora imati mjesto predviđeno za montažu industrijskog magneta. Šipka se također montira pomoću dosjednog vijka. Provrt za šipku se izrađuje u toleranciji H6.



Slika 34. Skica nosača šipke i magneta

6.5. Klizači

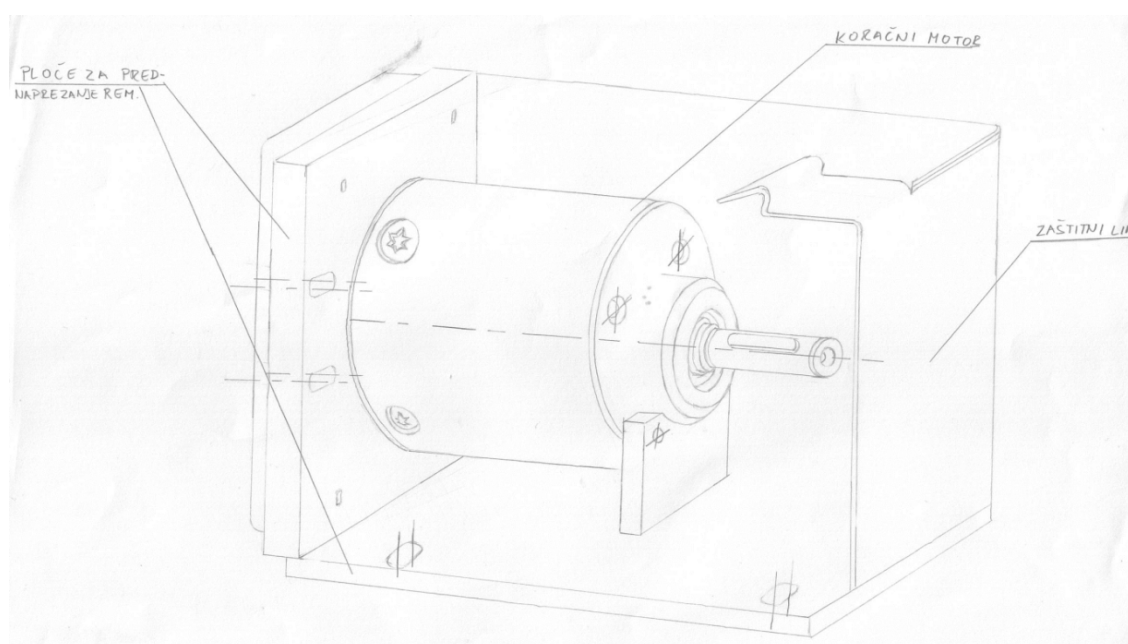
Klizači imaju provrte za ležajeve za linearna gibanja koji su učvršćeni unutrašnjim Segerovim prstenima prema DIN972. Prilikom konstruiranja potrebno je voditi računa o oslobođenjima za remen. Također, predviđen je učvršćivač remena koji se montira na klizač. Učvršćivač je profila kao i remen. Pričvršćuje se vijcima. Remen se osigurava od pomaka poklopcem koji pritišće remen na profil. Klizač je izrađen od AlSiMg.



Slika 35. Skica većeg klizača

6.6. Kućište motora X i Y osi

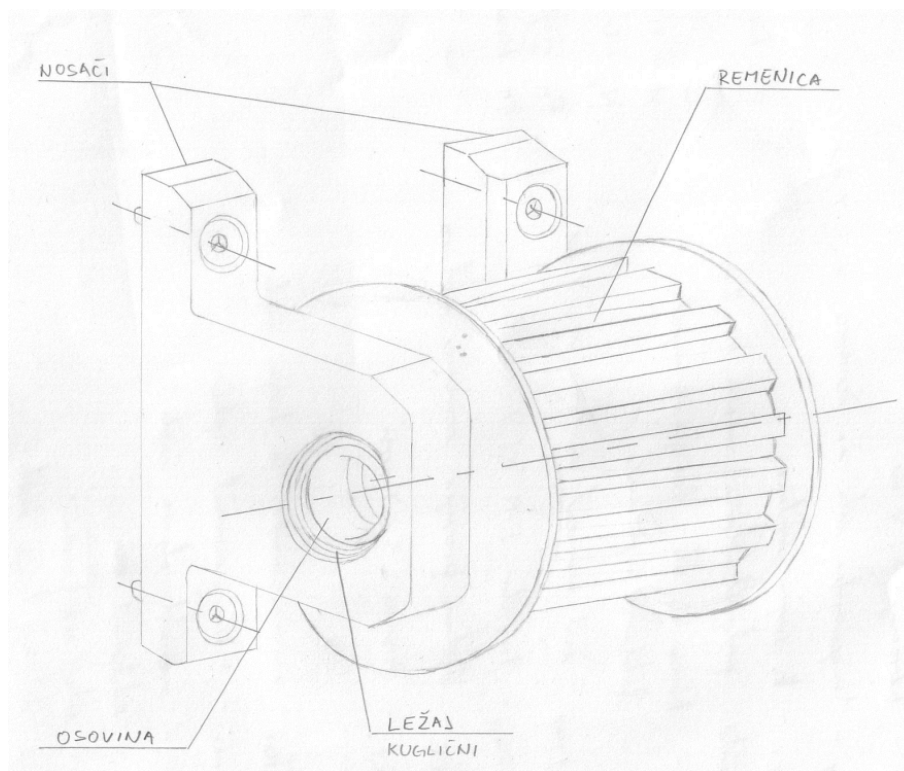
Kućište je izrađeno zavarivanjem aluminijskih ploča od AlSiMg. Dimenzije i položaj provrta/navoja za učvršćivanje koračnog motora definirano je prema NEMA34 standardu. Za zaštitu korisnika i ostalih strojnih dijelova mora biti osmišljen tanki čelični lim oblikovan savijanjem. Ploče moraju imati utore za prednaprezanje remena.



Slika 36. Skica kućišta motora

6.7. Nosač remenice

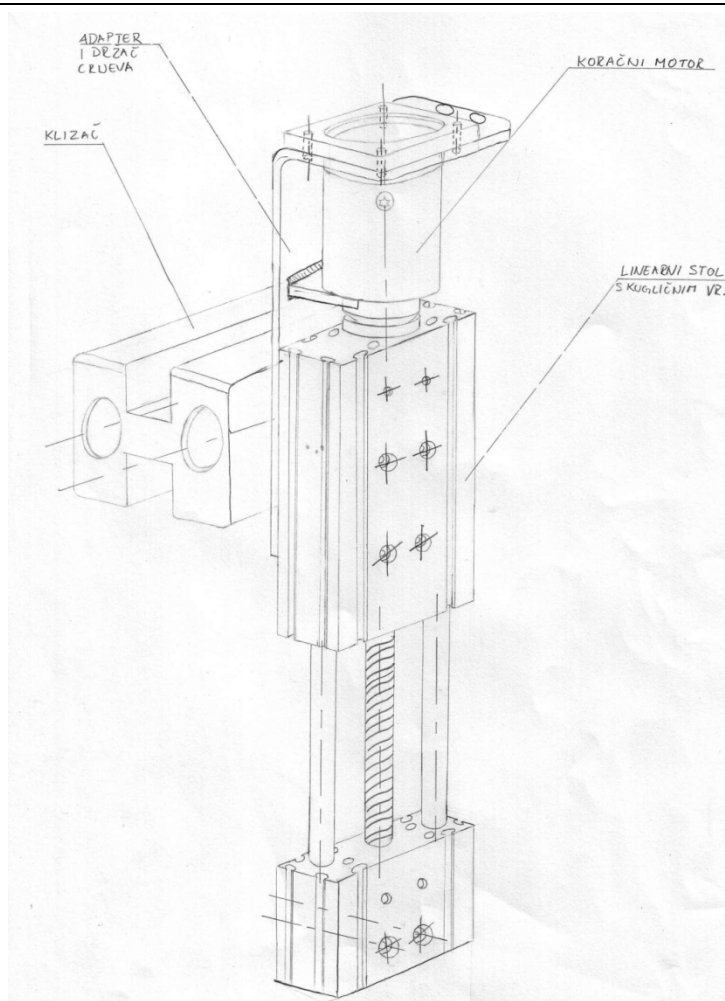
Nosači remenice moraju imati provrte za radijalne ležajeve izrađene u kvaliteti H7. Izrađeni su također od legure aluminija AlSiMg. Osovina nosača mora biti izrađena od čelika za poboljšavanje 42CrMo4. Na površini nalijezanja na ležaj, osovina mora biti izrađena u kvaliteti h7, a dosjed između remenice i osovine je standardni čvrsti dosjed.



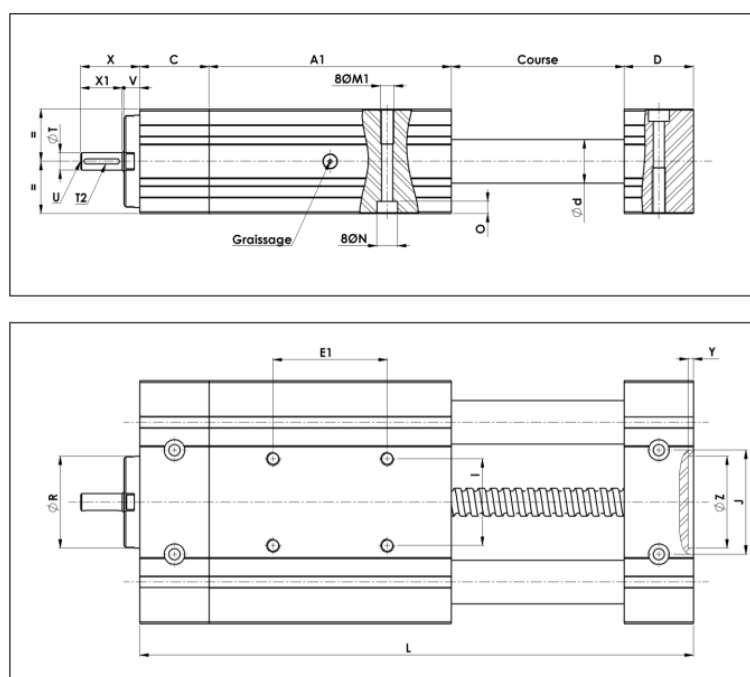
Slika 37. Skica nosača Remenice

6.8. Nosač Z-osi

Za prijenos gibanja Z-osi odabran je linearni stol francuskog proizvođača *Kinetics systems* serije KV100, hoda 205mm. Potrebno je osmisлити adapter motora i držač crijeva koji se vijcima učvršćuje na klizač X-osi. Na adapteru moraju biti osigurane dimenzije za učvršćivanje motora prema NEMA34 standardu. Izrađen je savijanjem čeličnog lima ili zavarivanjem aluminijskih ploča legure AlSiMg.



Slika 38. Skica nosača Z-osi



Slika 39. Dimenzije linearnog stola serije KV100

Tablica 13. Tehnički podaci linearnog stola

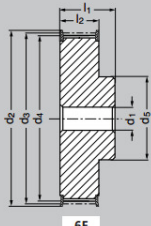
Hod (Course)	205mm
Ukupna max. duljina	415mm
Trapezno vreteno	T16x4mm
Širina	100 mm
Masa pokretnog dijela	1,5kg
Masa	2,2kg

6.9. Proračun koračnih motora X i Y osi, provjera nosivosti remena

Odabir motora za pokretanje osi ovisi o elementima prijenosa snage, odnosno njihovim dimenzijama. Potrebno je odabrati remenice pogona X i Y osi za zupčaste remene visoke preciznosti, takve da svojim dimenzijama ne traže posebne prilagodbe konstrukcije. Prema tome, za pogon X i Y osi odabrane su remenice iz kataloga proizvođača *MichaudChailly*, kataloški broj A9-47T10-18F sa slike:

MICHAUD CHAILLY modèle **A9-**

POULIE DENTÉE MONOBLOC
pour courroie à pas métrique



47T10

Mod.	Référence	Schéma	Nombre de dents	d ₁	d ₂	d ₃	d ₄	d ₅	l ₁	l ₂
Aluminium										
A9-47T10-18F	6F	18	10	60	57,30	55,45	40	47	37	
A9-47T10-19F	6F	19	10	66	60,48	58,60	44	47	37	
A9-47T10-20F	6F	20	12	66	63,66	61,80	46	47	37	
A9-47T10-22F	6F	22	12	75	70,03	68,15	52	47	37	
A9-47T10-24F	6F	24	12	83	76,39	74,55	58	47	37	
A9-47T10-25F	6F	25	12	83	79,58	77,70	60	47	37	
A9-47T10-26F	6F	26	12	87	82,76	80,90	60	47	37	
A9-47T10-27F	6F	27	12	91	85,94	84,10	60	47	37	

Slika 40. Remenica pogona X i Y osi

Diobeni promjer remenice iznosi: $D_{dR} = 57,3mm$. Pretpostavljena brzina kretanja X i Y osi iznosi $v_{x,y} = 15m/min$. Iz toga slijedi:

$$v_{x,y} = D_{dR} \cdot \pi \cdot n_{EMx,y}$$

$$15000 mm/min = 57,3mm \cdot \pi \cdot n_{EMx,y}$$

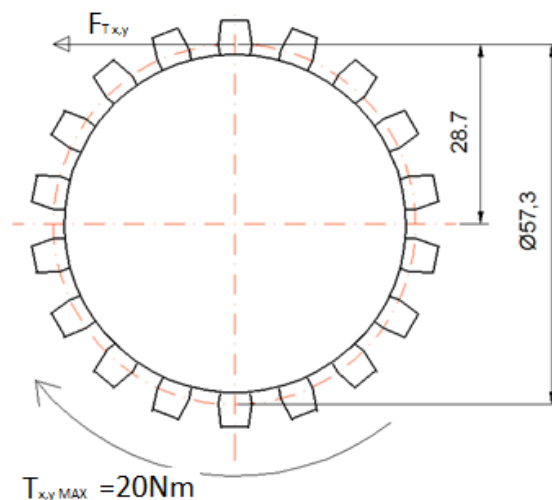
$$n_{EMx,y} = \frac{15000 \text{ mm/min}}{57,3 \text{ mm} \cdot \pi} = 83,33 \text{ okr/min.}$$

Iz informacije o broju okretaja može se odabrati koračni motor proizvođača *Zeitlauf*, prema NEMA34 standardu katalogskog broja 65_2_n34_f05 sa planetarnim prijenosnikom.

Tablica 14. Tehničke karakteristike motora za pogon X i Y osi

Standard	NEMA34
Katalogski br.	65_2_n34_f05
Maks. moment	20Nm
Maks. radijalno opterećenje	300N
Maks. aksijalno opterećenje	100N
Životni vijek	5000h
Masa	0,97kg
Temperatura radne okoline	-20°C do +80°C
Reduktor	Planetarni 1:30.5
Podmazivanje reduktora	Bez podmazivanja (lubricated for life)

Iz maksimalnog momenta odabranog motora i diobenog promjera odabrane remenice može se izračunati maksimalna sila otpora vožnje:



Slika 41. Skica opterećenja remenice X i Y osi

$$F_{t\ X,Y} = \frac{T_{X,Y\ MAX}}{0,0286\ m} = \frac{20\ Nm}{0,0286\ m} \approx 700\ N.$$

Maksimalni moment koračnog motora je moment držanja (*eng. holding torque*). S povećanjem kutne brzine motora, moment pada. Za savladavanje sila otpora vožnje i samog ubrzavanja osi pri pokretanju iz stanja mirovanja uzimamo maksimalni moment od 20Nm.

Stoga je potrebno provjeriti kojim je maksimalnim ubrzanjem dozvoljeno opteretiti odabrani koračni motor prilikom podešavanja opisanog u 5.2.1.

$$F_{t\ X,Y} = a_{X,Y} \left(\frac{m_{pretp1}}{\mu_L^6} \right) \cdot S$$

$$a_{X,Y} = \frac{F_{t\ X,Y}}{\frac{m_{pretp1}}{\mu_L^6} \cdot S} = \frac{700N}{\frac{25kg}{0,98^6} \cdot 1,5} = 16,5m/s^2,$$

gdje je μ_L korisnost ležajnog mjesta, a S faktor sigurnosti. Uz faktor sigurnosti 1,5 i nepovoljniji slučaj pokretanja Y osi, kod podešavanja koračnih motora potrebno je ubrzanje podesiti na približno $16,5m/s^2$.

6.10. Proračun koračnog motora Z osi

Prema prethodno odabranom linearnom stolu Z-osi vrši se proračun koračnog motora za pogon s pretpostavkom da se može ugraditi isti motor kao i za pogon X i Y osi.

Uspón trapeznog vretena iznosi $P_{vret} = 4mm$. Da ne bi došlo do prevelikog odstupanja u maksimalnoj brzini gibanja osi, a i kako bi se smanjila brzina Z osi da ne bi došlo do udara u ploču prilikom podešavanja odmaka gorionika pretpostavlja se:

$$v_z = P_{vret} \cdot n_{EMZ} = 15m/min,$$

$$n_{EMZ} = \frac{v_z}{P_{vret}} = \frac{15m/min}{0,004m} = 3,75okr/min.$$

7. Upute za sklapanje i korištenje

Uređaj je namjenjen za plameno rezanje kontura od čeličnih ploča i to čelika koji svojim svojstvima to dozvoljavaju. Predviđen je za spajanje na gradsku električnu mrežu napona 220V. Numerički je upravljani, te je za njegovu upotrebu potrebno osobno ili prijenosno računalo sa instaliranim programskim paketom MACH3 ili sličnim. Također je potrebno priključiti standardne industrijske plinske boce i to: Kisik čistoće 99,5% molarnog udjela kisika i propan-butan.



Oprez! Za rezanje se smije koristiti isključivo zapaljivi zemni plin mješavina propan-butan. Crijeva za dovod zapaljivog plina i ostala ugrađena oprema nisu predviđeni za visoke tlakove! Korištenje drugih zapaljivih plinova moglo bi uzrokovati ozbiljnu materijalnu štetu i ugroziti zdravlje i živote ljudi u blizini!

Uređaj ima ugrađene vlastite kotače za prevoženje guranjem do ploča. Na ploču se pričvršćuje industrijskim magnetima koji se prikazani na slici. Svaka ploča mora biti odvojena od tla ili druge ploče prema pravilima skladištenja radi izbjegavanja kontaktne korozije.

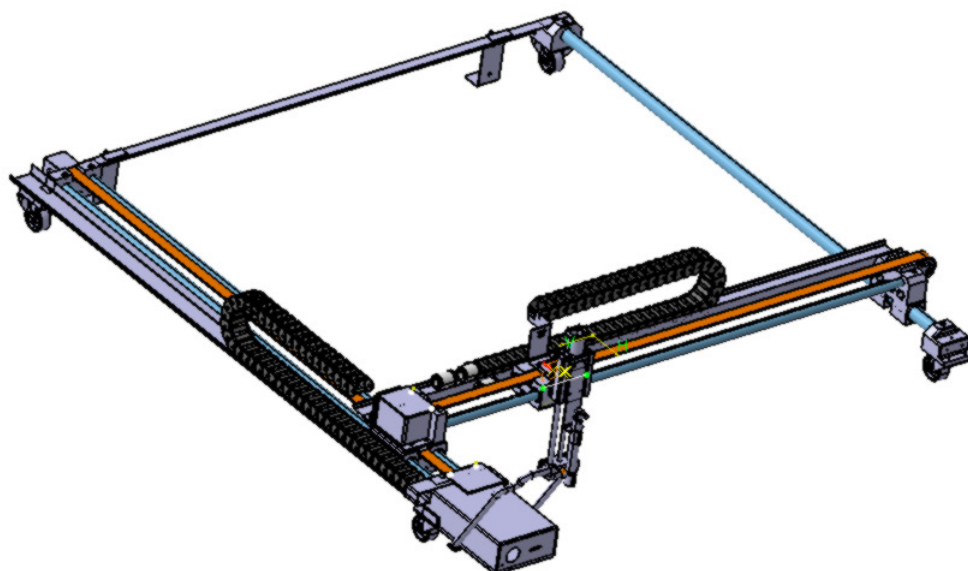
Prije pokretanja uređaja provjeriti sljedeće:

- da li je uređaj pravilno pričvršćen na ploču
- jesu li plinske boce postavljene okomito i adekvatno osigurane od prevrtanja
- jesu li plinska crijeva i kablovi osigurani od ulaska u radno područje stroja i jesu li pravilno spojeni
- da li je tipka za zaustavljanje u slučaju nužde funkcionalna.

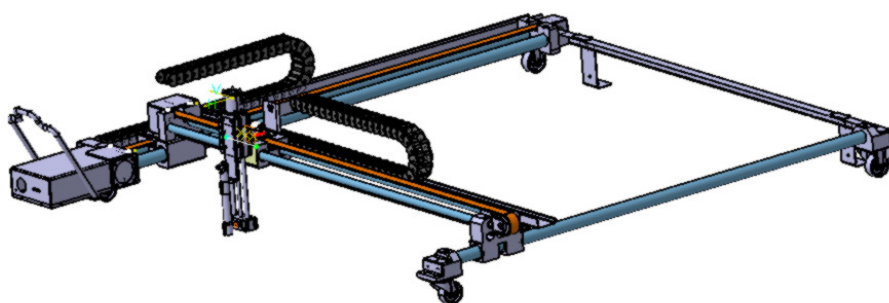
Prije pokretanja željenog programa kalibrirati sustav upravljačkim programom, definirati limite (*eng. soft limits*). Po završetku rezanja učiniti kako slijedi:

- odmaknuti gorionik po Z-osi
- zatvoriti dovod plina
- isključiti glavnu sklopku uređaja
- uređaj isključiti iz električne mreže

- isključiti komunikacijski kabel računala
- odvojiti crijeva za dovod plina
- odvojiti magnete za pričvršćivanje na ploču



Slika 42. 3D model rezača 1



Slika 43. 3D model rezača 2

8. Opis glavnih podsklopova

Uređaj se sastoji od glavnih podsklopova: X-osi, Y-osi, Z-osi, Monoklizača i L-profila ukrute. X i Y os su pokretane koračnim elektromotorima preko remenog prijenosa. Z-os je ovješena na X-os pomoću nosača i vodicica. Pogon Z-osi osiguran je također koračnim elektromotorom. Prijenos snage Z-osi osiguran je preko kugličnog navojnog vretena, odnosno, linearnog stola. Gorionik je učvršćen na pokretni dio linearnog stola, čiji hod iznosi 205mm. Zbog hoda od 205mm mogu se rezati čelične ploče debljine do 200mm bez da se rezač montira na ploču, već se ploča može podvlačiti pod rezač.

Monoklizač je podsklop koji služi za nošenje podsklopa X-osi. Sastoji se od nosača šipke, šipke promjera 40mm, ležaja za linearna gibanja i standardnih kotača.

L-profil ukruta je podsklop koji ima dvije funkcije. Prva je ostvarivanje stabilnosti i krutosti konstrukcije, a druga nošenje magneta za učvršćivanje na ploču. Osmišljen je od standardnog L profila legure aluminija i ploča oblikovanih savijanjem, također od legure aluminija.

Ostali podsklopovi – Kućišta motora X i Y osi ostvaruju funkciju zaštite korisnika od zapinjanja odjeće i mogućih ozljeda tokom rada sa uređajem. Također štite i nose koračne elektromotore. Kućište motora Y-osi štiti elektronički podsklop uređaja.

9. Zaključak

Potreba za tipom uređaja kakav je do detalja razrađen u ovom radu, možda još uvijek nije dovoljno prepoznata kod tvrtki koje se bave obradom metala u Hrvatskoj. Sljedeći korak u ostvarenju projekta je izrada prototipa te puštanje u probni rad. Tokom probnog rada potrebno je uočiti sve eventualne nedostatke i propuste koji su napravljeni do sad, te uređaj doraditi koliko je to moguće. No za takav pothvat su potrebna značajna sredstva.

Kada bi u praksi Cutter Master 1500 dokazao svoju kvalitetu i kada bi kao takav bio predstavljen i ulagačima i kupcima, za pretpostaviti je da bi doživio značajan uspjeh i serijsku proizvodnju.

Tokom koncipiranja i konstrukcijske razrade uređaja koristili su se standardni dijelovi gdje je god to moguće. Da bi se smanjio utjecaj na okoliš osmišljene pozicije su u potpunosti rastavljive. Za izradu su korišteni materijali koji su u potpunosti reciklabilni i koje je jednostavno zbrinuti. Veći dio osmišljenih nestandardnih pozicija izrađen je od aluminija, a tek manji od čelika.

Mala masa, korištenje standardnih dijelova, skraćeno vrijeme strojne obrade pojedinih pozicija i dr. pridonosi smanjenju konačne cijene uređaja. S druge strane nije ugrožena kvaliteta, čvrstoća i funkcionalnost uređaja. Uređaj zadovoljava sve u početku pretpostavljene tehničke karakteristike, a i više od toga.

Brz, lagan, prenosiv, jeftin, svrsishodan, jednostavan - sve su to atributi uređaja kojeg ciljani korisnici tek trebaju upoznati. Smanjuje vrijeme koje je potrebno za manipulaciju materijalom prilikom prevoženja do klasičnog plamenog rezača. Ne zahtjeva posebnu opremu. Za upravljanje je dovoljno prijenosno računalo s instaliranim komercijalnim programskim paketom za numeričko upravljanje MACH3 ili nekim sličnim. Sam upravljački dio izveden je na način da je uređaj moguće priključiti na standardnu gradsku električnu mrežu napona 220V.

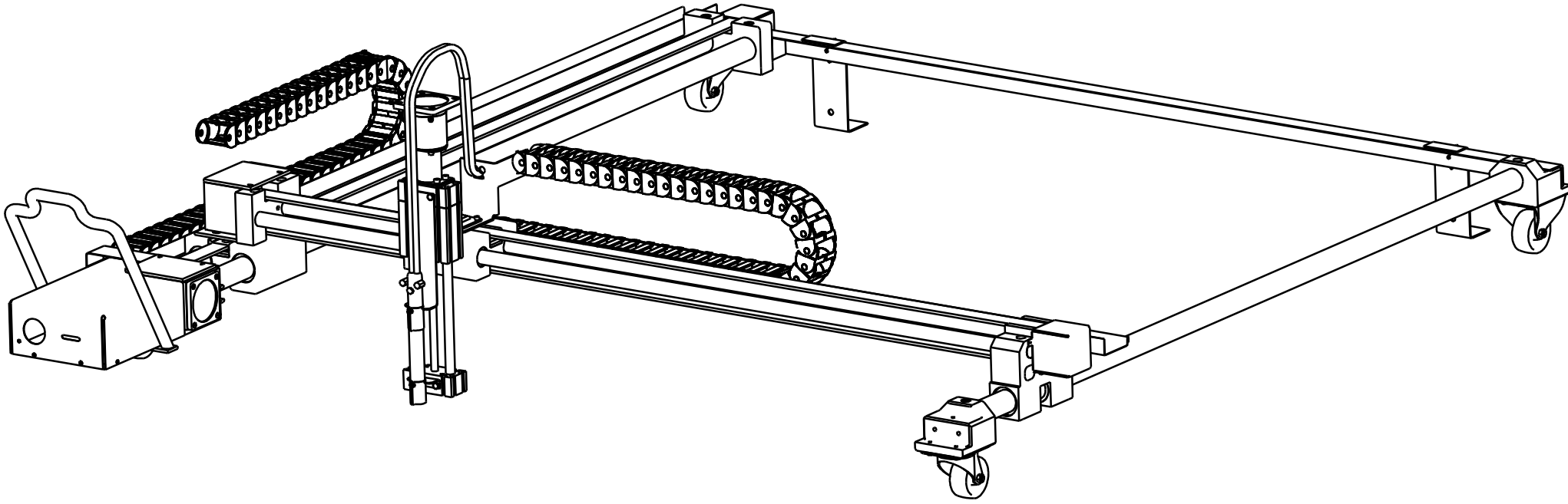
Sigurnost je također karakteristika koja nije izostavljena. Da bi se zaštitilo korisnika i priključenu opremu, za uređaj su predviđene elektroničke komponente poput *charge pump* i *breakout board*. Osiguran je i fizičkim graničnicima, a korisnik je fizički zaštićen od zasljepljivanja svijetlim plamenom.

10. Literatura

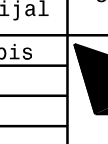

- [1] Birkić A.: Završni rad, FSB, Zagreb, 2010.
- [2] Decker, K. H.: Elementi strojeva, Tehnička knjiga Zagreb, 1975.
- [3] EN ISO 9013:2002 Toplinsko rezanje – Razredba rezova – Geometrijska specifikacija proizvoda i dozvoljena odstupanja kakvoće
- [4] Herold, Z.: Računalna i inženjerska grafika, Zagreb, 2003.
- [5] Kraut, B.: Strojarski priručnik, Tehnička knjiga Zagreb, 1976.
- [6] Šćap, D.: Prenosila i dizala, FSB Zagreb, 1990.
- [7] HRN EN 10029:2010 Toplo valjani čelični limovi debljine 3 mm ili više -- Dopuštena odstupanja dimenzija i oblika
- [8] www.arrowcryogenics.com/hard-coat-aluminum-anodizing.htm
- [9] www.cross-morse.co.uk/pdf/ClassicalTbeltsEN.pdf
- [10] eastern.usu.edu/welding/files/uploads/oxyfuel.pdf
- [11] en.wikipedia.org/wiki/History_of_numerical_control
- [12] www.h2wtech.com/Products/ShowCategory?catid=3#productInfo1
- [13] www.harrisproductsgroup.com/
- [14] <https://www.hypertherm.com/Xnet/library/library.jsp?file=HYP104690>
- [15] www.korta.com
- [16] www.matweb.com/reference/anodize.aspx
- [17] www.nema.org/Standards/About-Standards/pages/default.aspx
- [18] www.who-sells-it.com/cy/cross-morse-4181/timing-belts-20466/page-2-fullsize.html
- [19] www.zappautomation.co.uk/en/linear-motor-stage/911-ild-50-6-with-direct-drive-linear-motor.html

11. Prilog

1. Tehnička dokumentacija za izradu
2. CD sa 3D modelom rezača (Catia V5 R20)



20	Podsklop Y-osi	1	CM_01_20.00	Podsklop	1810x245x135,5	12,75kg
19	Zatvarač remena	2	CM_01_19.00	AlSiMg	150x35x10	0,25kg
18	Zupčasti remen	2	BRT1035	T10x35	M5x16	6,29kg
17	Imbus vijak	8	ISO 4762	8.8	M5x16	5g
16	Vijak sa šesterokutnom glavom	4	ISO 4017	8.8	M5x10	4g
15	Vijak sa šesterokutnom glavom	8	ISO 4017	8.8	M6x16	6g
14	Imbus vijak	1	ISO 10642	8.8	M3x10	3g
13	Rucka za vucu	1	CM_01_13.00	AlSiMg		0,17kg
12	Monoklizac	1	CM_01_12.00	Podsklop	1840x100x270	5,63kg
11	Vodilica	2	----	PEHD	40x60x1850	0,50kg
10	Dosjedni vijak M8/Ø10h6	1	68m0850	8.8	M8x50	8g
9	L-profil-ukruta	1	CM_01_09.00	Podsklop	130x126x95	1,17kg
8	Nosač vodilice	2	CM_01_08.00	S235JR	1900x73,5x30	1,74kg
7	Podsklop X-osi	1	CM_01_07.00	Podsklop	1590x530x316	12,79kg
6	Kotac Y-osi rot.	1	hyc1e46540	---	Ø75x100x84	0,20kg
5	Poklopac elektroničke	1	CM_01_05.00	S235JR	320x200x98	1,00kg
4	Poklopac motora X-osi	1	CM_01_04.00	S235JR	123x100x84	0,14kg
3	Poklopac remenice	2	CM_01_03.00	S235JR	68x75x76	0,20kg
2	Kuciste motora X-osi	1	CM_01_02.00	Podsklop	130x126x95	0,34kg
1	Kuciste motora Y-osi	1	CM_01_01.00	Podsklop	350x198x101	2,01kg

Poz.	Naziv dijela	Kom.	Crtež broj	Materijal	Sirove dimenzije	Masa
			Norma		Proizvođač	
Broj naziva - code		Datum		Ime i prezime		Potpis
<div><div>Projekтирао</div><div>06. 2014.</div><div>Igor Stefanic</div></div> <div><div>Razradio</div><div>06. 2014.</div><div>Igor Stefanic</div></div> <div><div>Crtao</div><div>06. 2014.</div><div>Igor Stefanic</div></div> <div><div>Pregledao</div><div>07. 2014.</div><div>Mario Storga</div></div>		<div> FSB Zagreb</div>				
		ISO - tolerancije				
		Objekt broj: CM_01.00				
		R. N. broj:				
ISO H7/h6 +0,024 0,000	Napomena:---		Kopija			
ISO H7/h6 +0,041 0,000	Materijal:---		Baza: 41,72kg			
<div></div>		Naziv:		Poz.:	Format:A1	
Mjersko originalno:		Cutter master 1500		----	Listova:1	
1:5		Crtež broj: CM_01.00		List:1		

0

10

20

30

40

50

60

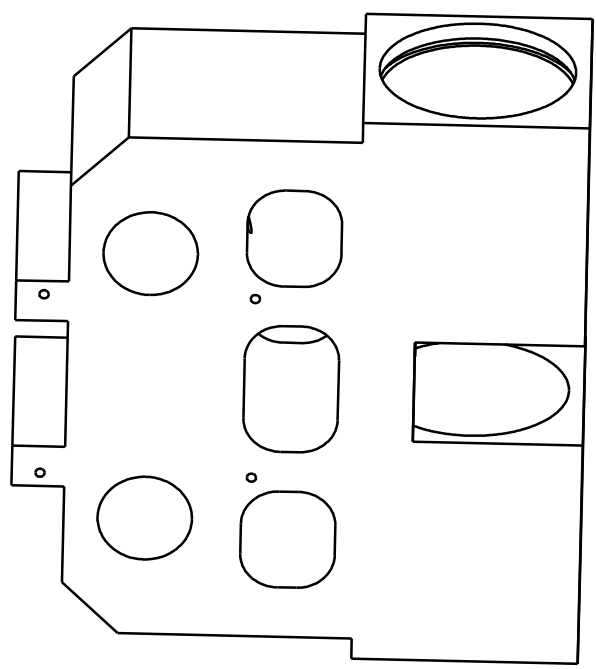
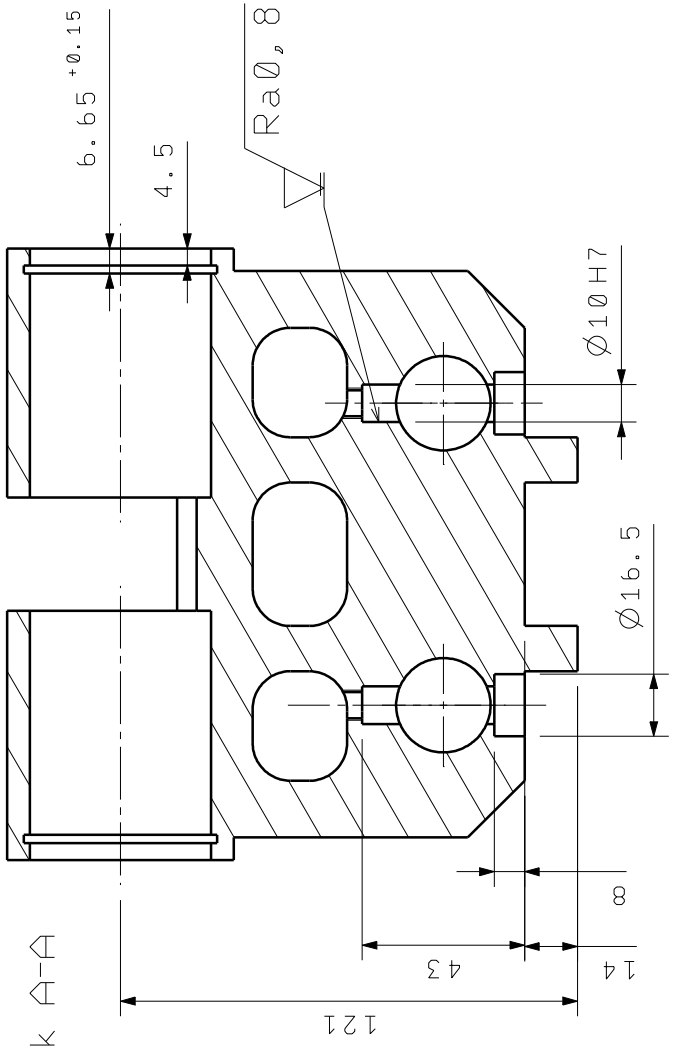
70

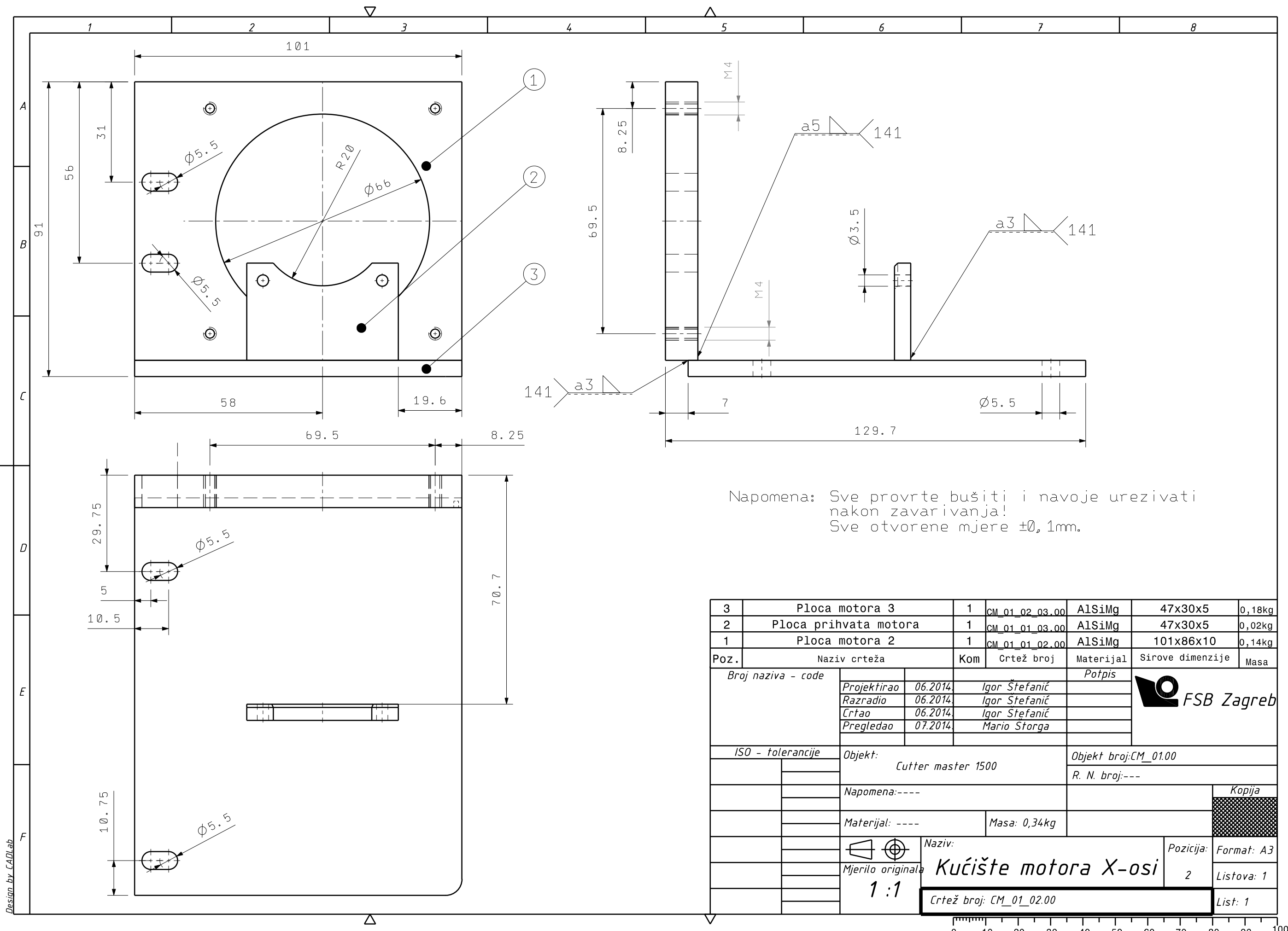
80

90


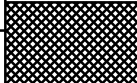


100

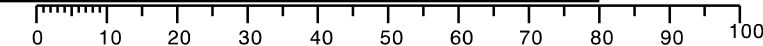


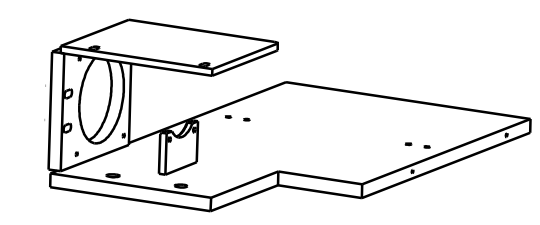
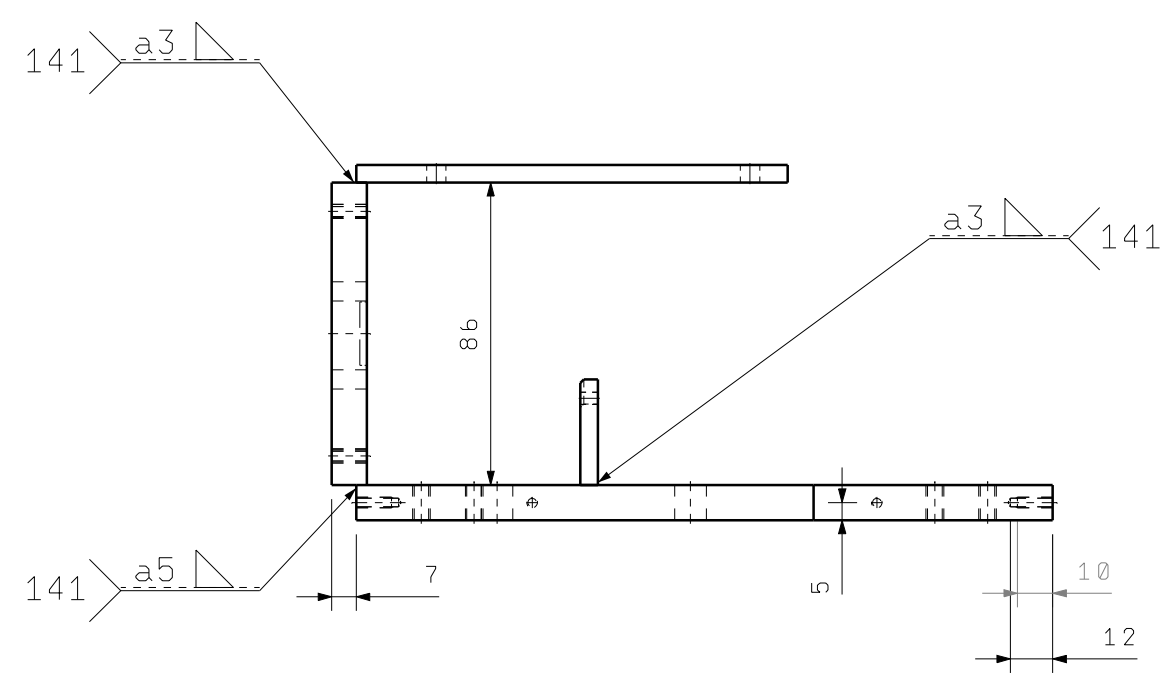
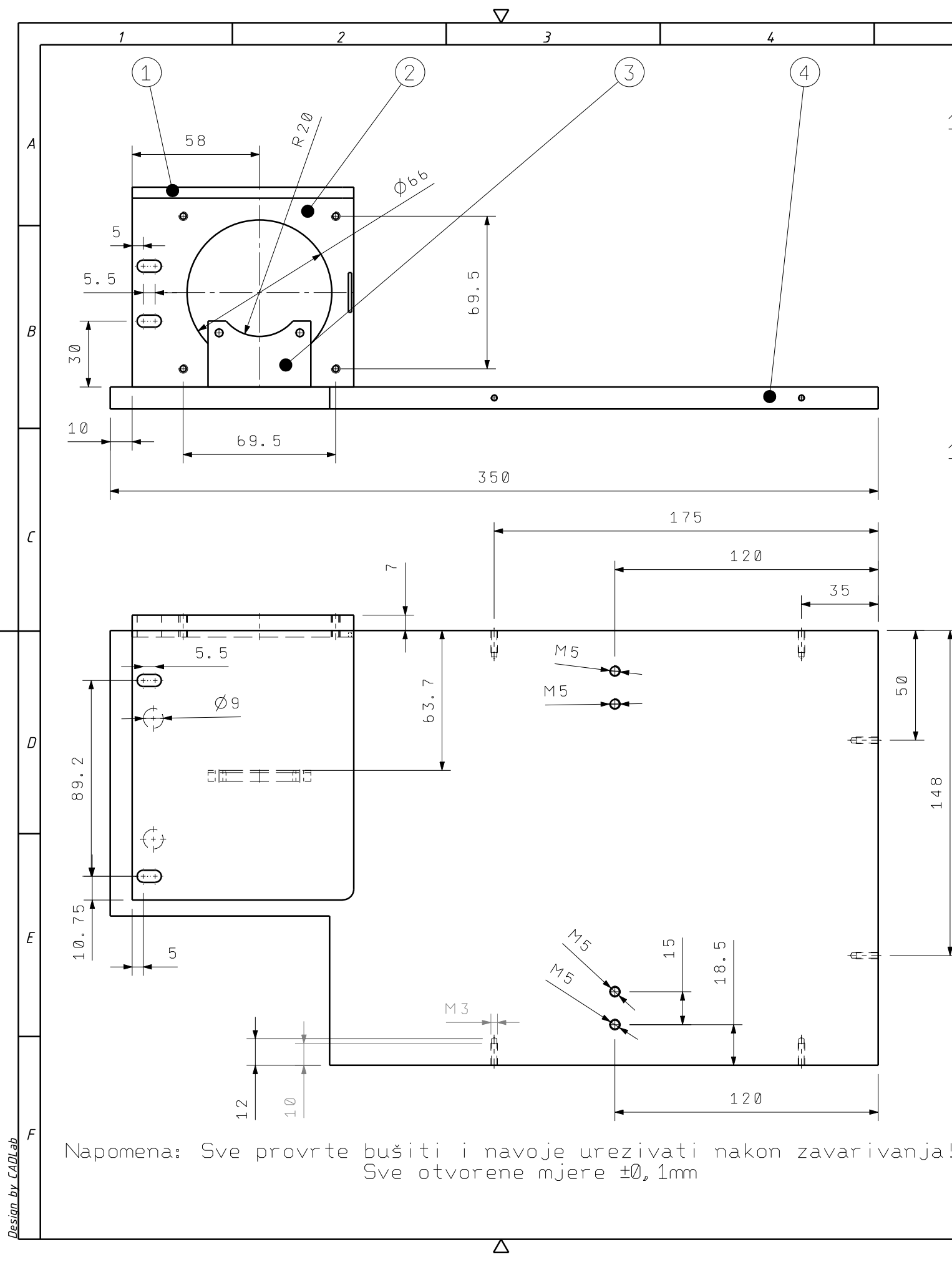




Napomena: Sve provrte bušiti i navoje urezivati nakon zavarivanja!
Sve otvorene mjere $\pm 0,1\text{mm}$.

3	Ploca motora 3		1	CM_01_02_03.00	AlSiMg	47x30x5	0,18kg
2	Ploca prihvata motora		1	CM_01_01_03.00	AlSiMg	47x30x5	0,02kg
1	Ploca motora 2		1	CM_01_01_02.00	AlSiMg	101x86x10	0,14kg
Poz.	Naziv crteža		Kom	Crtež broj	Materijal	Sirove dimenzije	Masa
Broj naziva - code					Potpis	 FSB Zagreb	
		Projektirao	06.2014	Igor Štefanić			
		Razradio	06.2014	Igor Štefanić			
		Crtao	06.2014	Igor Štefanić			
		Pregledao	07.2014	Mario Storga			
ISO - tolerancije		Objekt:			Objekt broj:CM_01.00		
		Cutter master 1500			R. N. broj:---		
		Napomena:----				Kopija	
		Materijal: ----			Masa: 0,34kg		
	 	Naziv:				Pozicija:	Format: A3
	Mjerilo originala	Kućište motora X-osi				2	Listova: 1
	1 : 1	Crtež broj: CM_01_02.00					List: 1

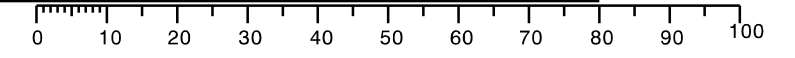


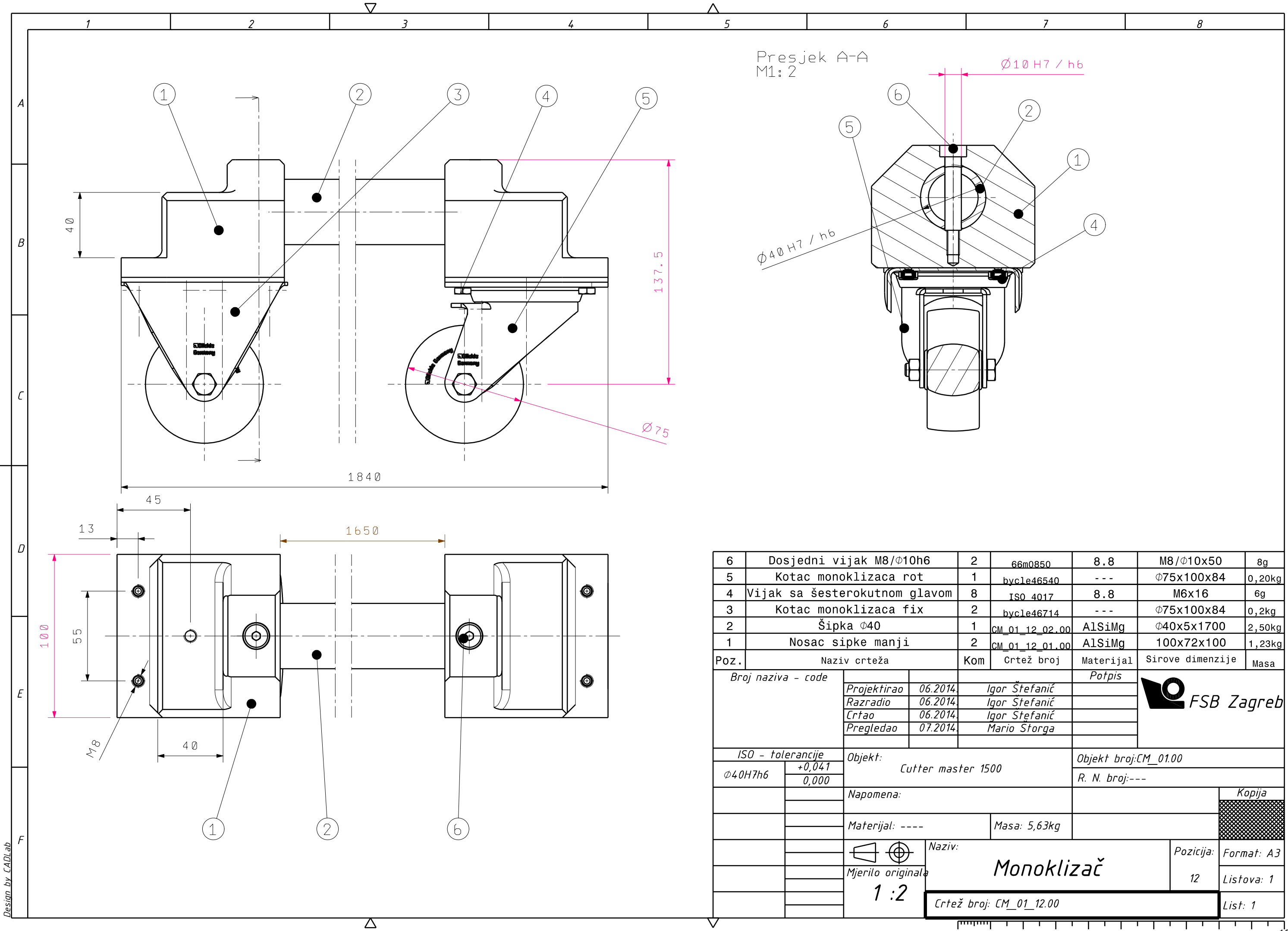


4	Nosiva ploca el. upravljanja	1	CM_01_01_04.00	AlSiMg	350x198x10	1,67kg
3	Ploca prihvata motora	1	CM_01_01_03.00	AlSiMg	47x30x5	0,02kg
2	Ploca motora 2	1	CM_01_01_02.00	AlSiMg	101x86x10	0,14kg
1	Ploca motora 1	1	CM_01_01_01.00	AlSiMg	101x123x5	0,18kg
Poz.	Naziv crteža	Kom	Crtež broj	Materijal	Sirove dimenzije	Masa
Broj naziva - code		Projektirao		Potpis		
		06.2014		Igor Štefanić		
		06.2014		Igor Štefanić		
		06.2014		Igor Štefanić		
		07.2014		Mario Storga		
ISO - tolerancije		Objekt:		Objekt broj:CM_01.00		
		Cutter master 1500		R. N. broj:---		
		Napomena:----		Kopija		
		Materijal: ----		Masa: 2,01kg		
		Mjerilo originala		Naziv:		
		1:2		Kućište motora Y-osi		
				Pozicija: 1		
				Format: A3		
				Listova: 1		
				List: 1		
				Crtež broj: CM_01_01.00		



Design by CADLab




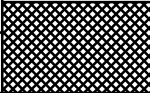
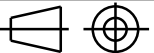


Presjek A-A
M1: 2

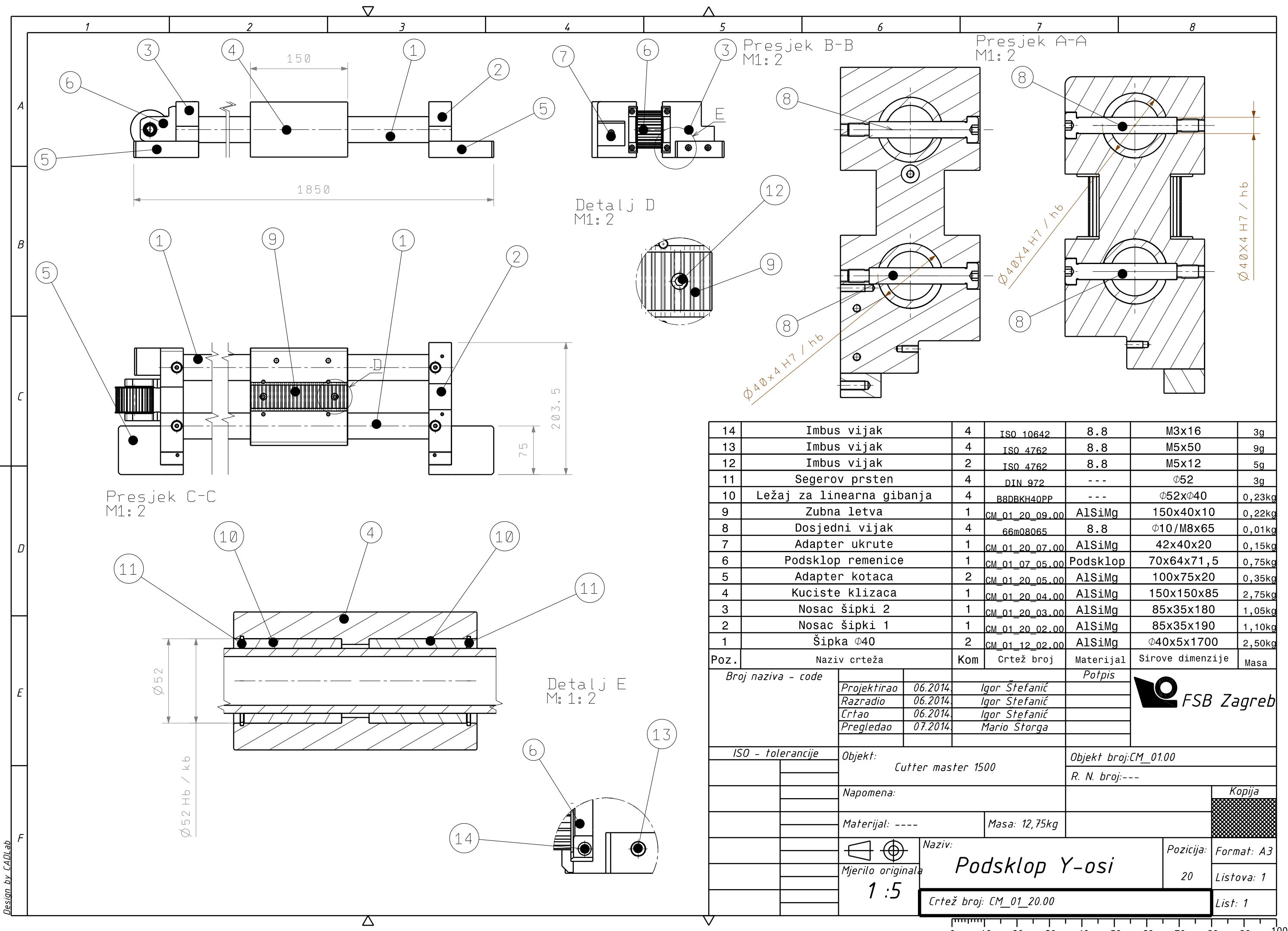
Ø10 H7 / h6

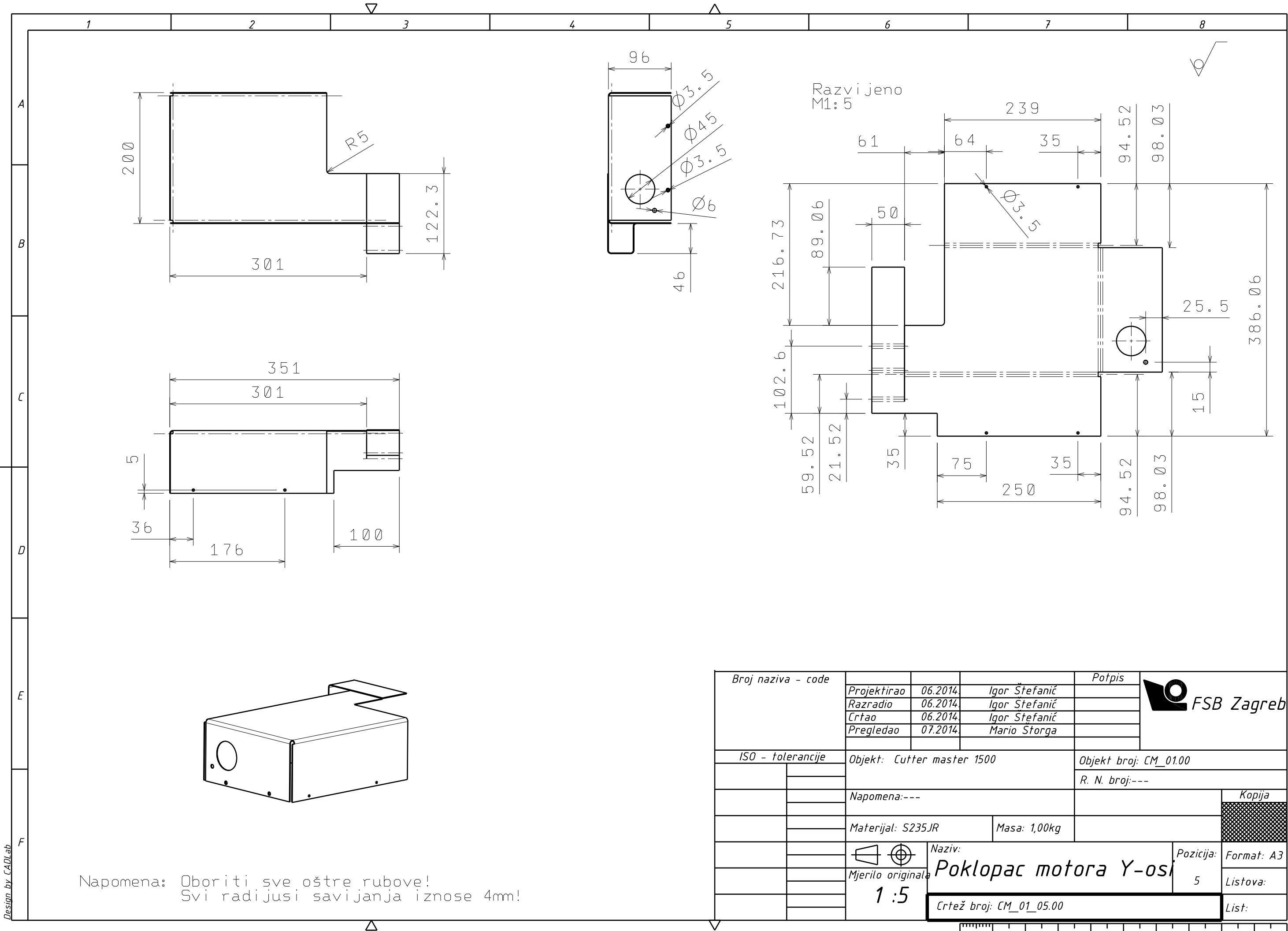
Ø40 H7 / h6

Ø75



6	Dosjedni vijak M8/Φ10h6	2	66m0850	8.8	M8/Φ10x50	8g	
5	Kotac monoklizaca rot	1	bycle46540	---	Φ75x100x84	0,20kg	
4	Vijak sa šesterokutnom glavom	8	ISO 4017	8.8	M6x16	6g	
3	Kotac monoklizaca fix	2	bycle46714	---	Φ75x100x84	0,2kg	
2	Šipka Φ40	1	CM_01_12_02.00	AlSiMg	Φ40x5x1700	2,50kg	
1	Nosac sipke manji	2	CM_01_12_01.00	AlSiMg	100x72x100	1,23kg	
Poz.	Naziv crteža		Kom	Crtež broj	Materijal	Sirove dimenzije	Masa
Broj naziva - code					Potpis	 FSB Zagreb	
		Projektirao	06.2014.	Igor Štefanić			
		Razradio	06.2014.	Igor Štefanić			
		Crtao	06.2014.	Igor Štefanić			
		Pregledao	07.2014.	Mario Storga			
ISO - tolerancije		Objekt:			Objekt broj:CM_01.00		
Φ40H7h6	+0,041	Cutter master 1500			R. N. broj:---		
	0,000						
		Napomena:			Kopija		
							
		Materijal: ----		Masa: 5,63kg			
		 Naziv:			Pozicija:		Format: A3
							Listova: 1
		Mjerilo originala			12		List: 1
		Crtež broj: CM_01_12.00					

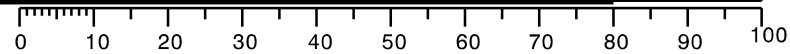
0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100

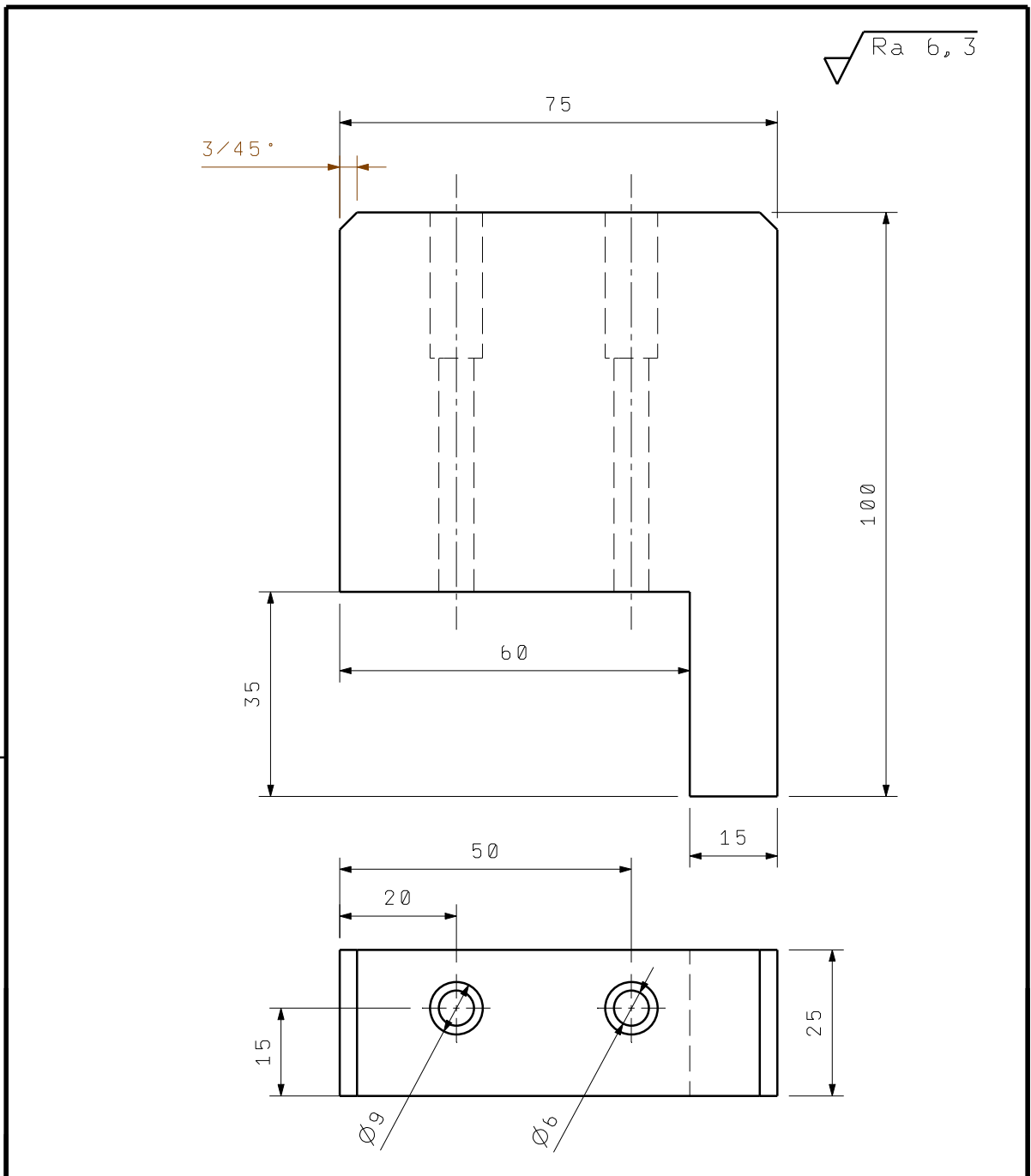







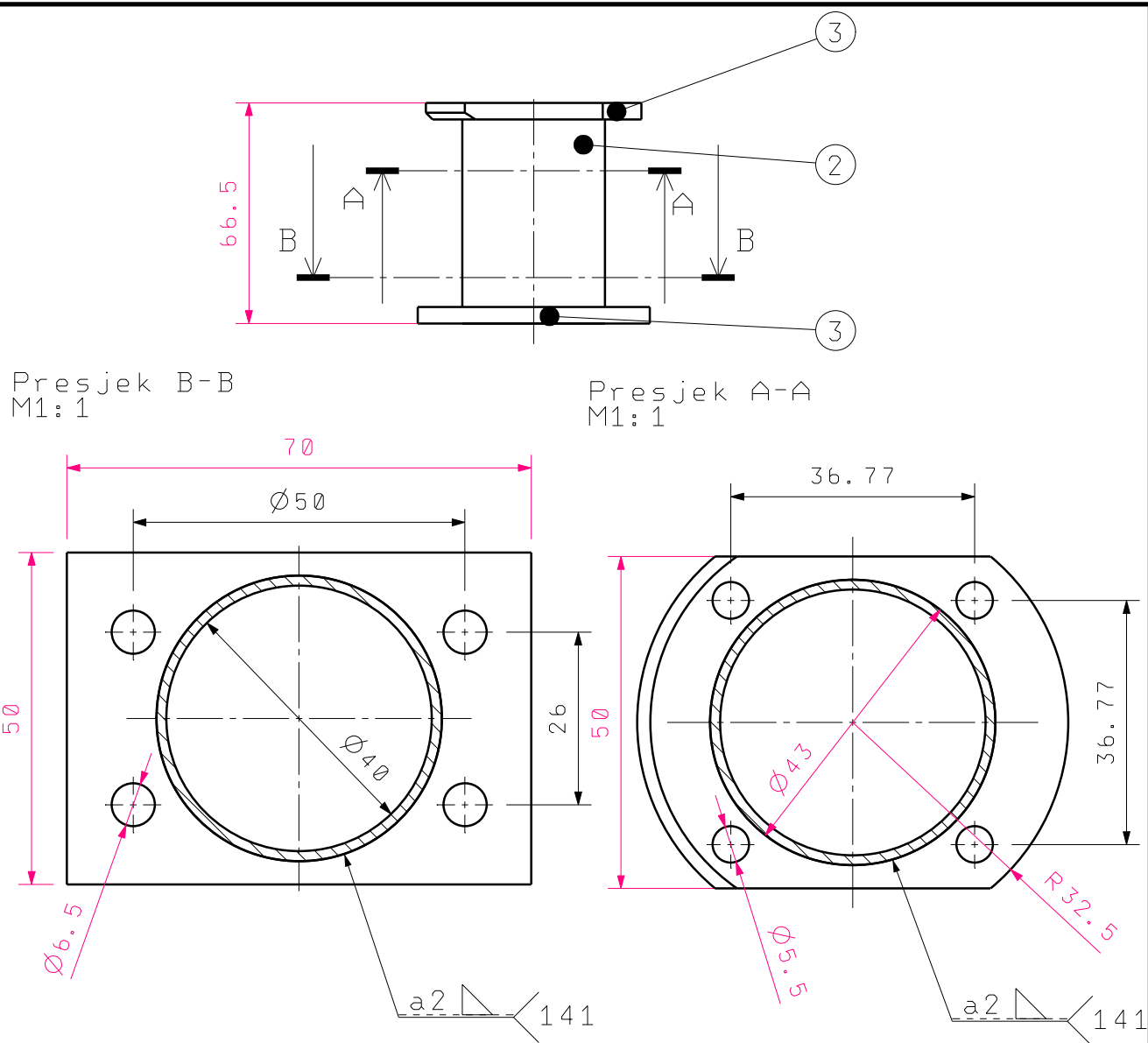
Napomena: Oboriti sve oštre rubove!
Svi radijusi savijanja iznose 4mm!

Broj naziva - code					Potpis	 FSB Zagreb
		Projektirao	06.2014	Igor Štefanić		
		Razradio	06.2014	Igor Štefanić		
		Crtao	06.2014	Igor Štefanić		
		Pregledao	07.2014	Mario Storga		
ISO - tolerancije		Objekt: Cutter master 1500			Objekt broj: CM_01.00	
					R. N. broj:---	
		Napomena:---				Kopija
		Materijal: S235JR		Masa: 1,00kg		
			Naziv:			Pozicija:
			Poklopac motora Y-osi			Format: A3
			Mjerilo originala			5
			1 : 5			Listova:
		Crtež broj: CM_01_05.00				List:


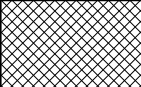
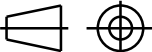


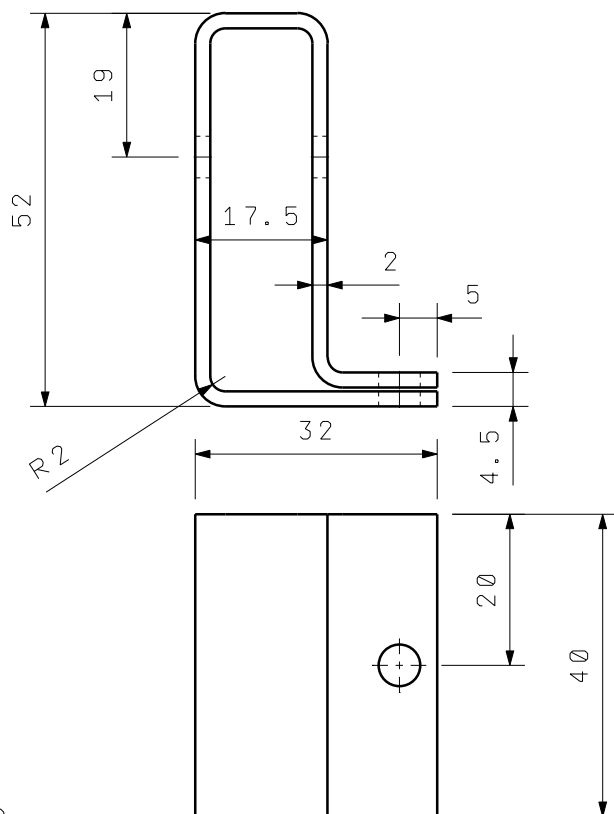


Broj naziva - code		Datum	Ime i prezime		Potpis	 FSB Zagreb	
		Projektirao	xx.06.2014.	Igor Štefanić			
		Razradio	xx.06.2014.	Igor Štefanić			
		Crtao	xx.06.2014.	Igor Štefanić			
		Pregledao	xx.07.2014.	Mario Štorga			
ISO - tolerancije		Objekt:			Objekt broj: CM_01_20.00		
		Podsklop Y-osi			R. N. broj:		
		Napomena:			Kopija		
		Materijal: AlSiMg		Masa: 0,35kg			
		 		Naziv:		Pozicija:	
		Mjerilo originala		Adapter kotača		5	
		1:1		Crtež broj: CM_01_20_05.00		Format: A4	
						Listova: 1	
						List: 1	

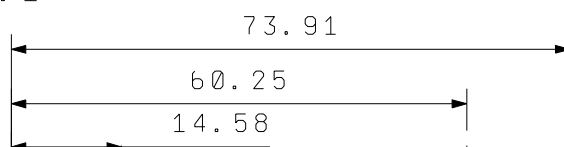


Napomena: Provrtе bušiti nakon zavarivanja!
Područje oko provrta čistiti od zavora
i osloboditi za glavu vijka.

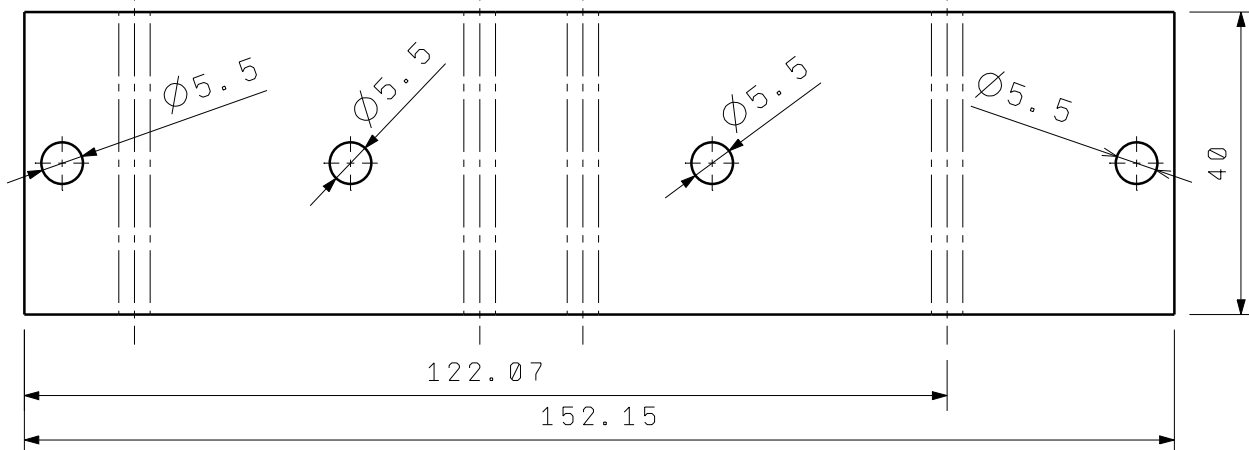
3	Gornja ploca adaptera	1	CM_01_07_04_02C.00	AlSiMg	Ø65x5	0,02kg	
2	Cijev adaptera	1	CM_01_07_04_02B.00	AlSiMg	Ø43x1,5x66,5	0,04kg	
1	Donja ploca adaptera	1	CM_01_07_04_02A.00	AlSiMg	70x50x5	0,03kg	
Poz.	Naziv crteža	Kom	Crtež broj	Materijal	Sirove dimenzije	Masa	
Broj naziva - code		Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb		
		Projektirao	xx.06.2014.	Igor Štefanić			
		Razradio	xx.06.2014.	Igor Štefanić			
		Crtao	xx.06.2014.	Igor Štefanić			
		Pregledao	xx.07.2014.	Mario Štorqa			
ISO - tolerancije		Objekt:		Objekt broj:CM_01_07_04.00			
		Z-os		R. N. broj:----			
		Napomena:----			Kopija		
		Materijal: AlSiMg		Masa: 0,08kg			
			Naziv:			Pozicija:	Format: A4
			Adapter Motora			2	Listova:1
		1:2	Crtež broj: CM_01_07_04_02.00			List: 1	


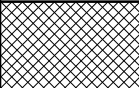
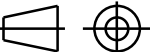


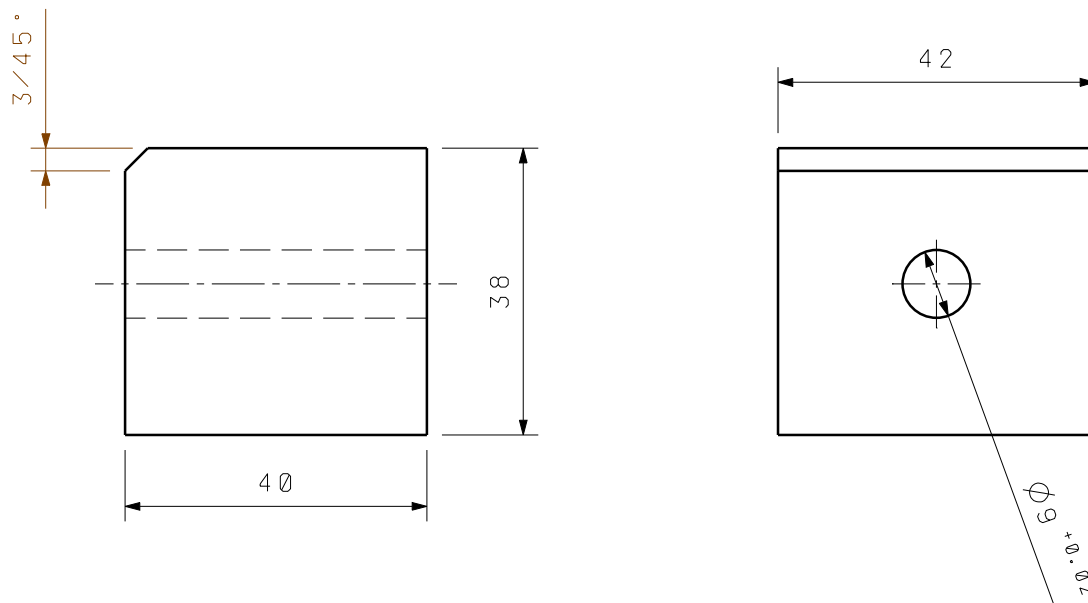
Razvijeno
M1: 1





Napomena: Provrtite bušiti
nakon savijanja.
Radijus savijanja
R=2mm.

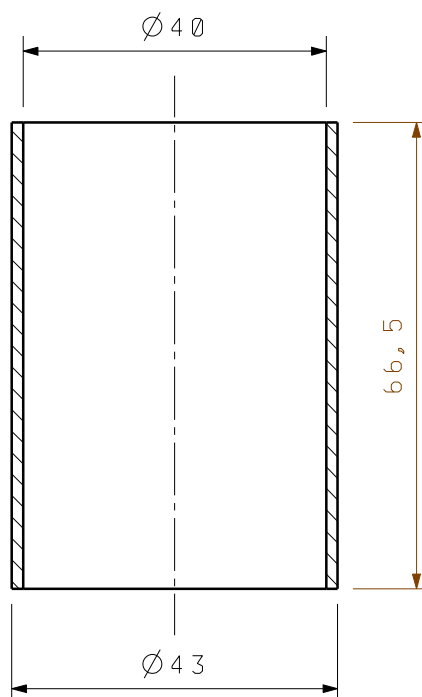



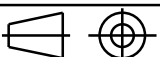
Broj naziva - code		Datum		Ime i prezime		Potpis		 FSB Zagreb		
		Projektirao xx.06.2014.		Igor Stefanić						
		Razradio xx.06.2014.		Igor Stefanić						
		Crtao xx.06.2014.		Igor Stefanić						
		Pregledao xx.07.2014.		Mario Storga						
ISO - tolerancije		Objekt: Podsklop X-osi				Objekt broj:CM_01_07.00				
						R. N. broj:				
		Napomena:						Kopija		
		Materijal: S235JR		Masa: 0,01kg						
				Naziv:			Pozicija:		Format: A4	
				Adapter nosača vodilice			9		Listova:1	
		1:1		Crtež broj: CM_01_07_09.00				List: 1		

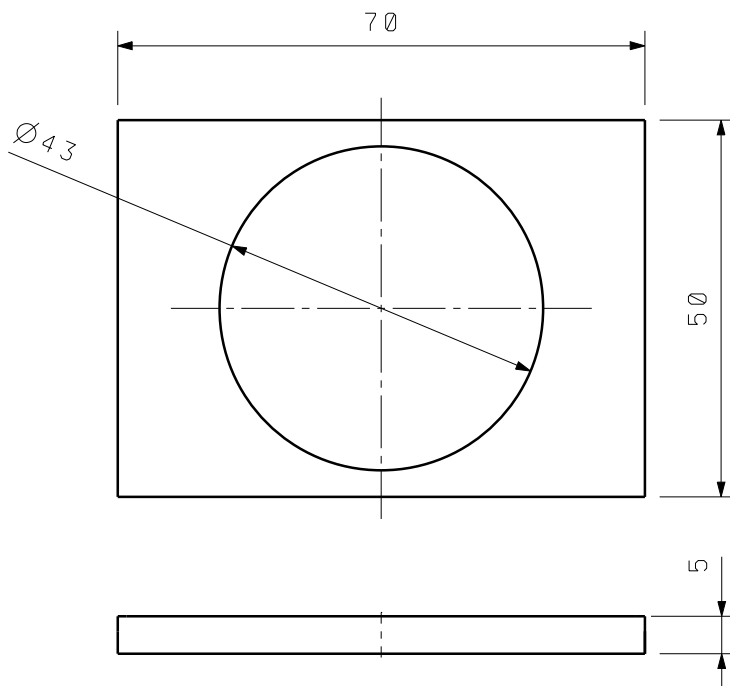



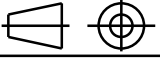
Broj naziva - code	Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb
	Projektirao xx.06.2014.	Igor Štefanić		
	Razradio xx.06.2014.	Igor Štefanić		
	Crtao xx.06.2014.	Igor Štefanić		
	Pregledao xx.07.2014.	Mario Storga		
ISO - tolerancije	Objekt:		Objekt broj: CM_01_20.00	
	Podsklop Y-osi		R. N. broj:	
	Napomena:			Kopija
	Materijal: AlSiMg		Masa: 0,15kg	
	 Mjerilo originala 1:1	Naziv:		Pozicija:
		Adapter ukrute		7
		Crtež broj: CM_01_20_07.00		
				Format: A4
				Listova: 1
				List: 1

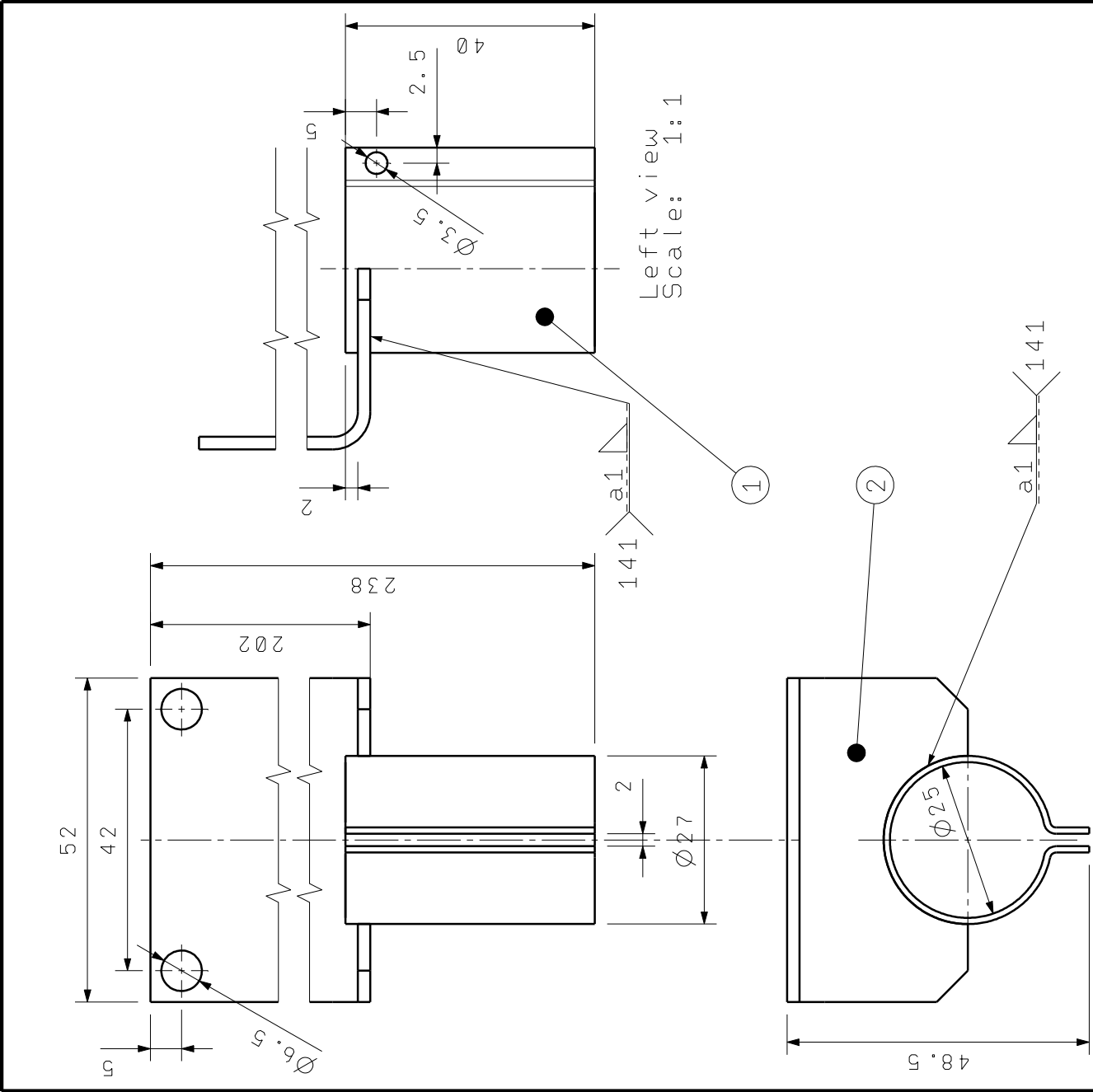
$\sqrt{Ra\ 6,3}$



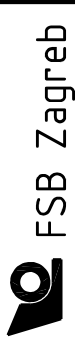
Broj naziva - code	Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb
	Projektirao xx.06.2014.	Igor Stefanić		
	Razradio xx.06.2014.	Igor Stefanić		
	Crtao xx.06.2014.	Igor Stefanić		
	Pregledao xx.07.2014.	Mario Storga		
ISO - tolerancije	Objekt:		Objekt broj: CM_01_07_04_02.00	
	Adapter motora		R. N. broj: ----	
	Napomena: ----			Kopija
	Materijal: AlSiMg	Masa: 0,02kg		
		Naziv:	Pozicija:	Format: A4
	Mjerilo originala	Cijev adaptera	2	Listova: 1
	1:1	Crtež broj: CM_01_07_04_02B.00		List: 1

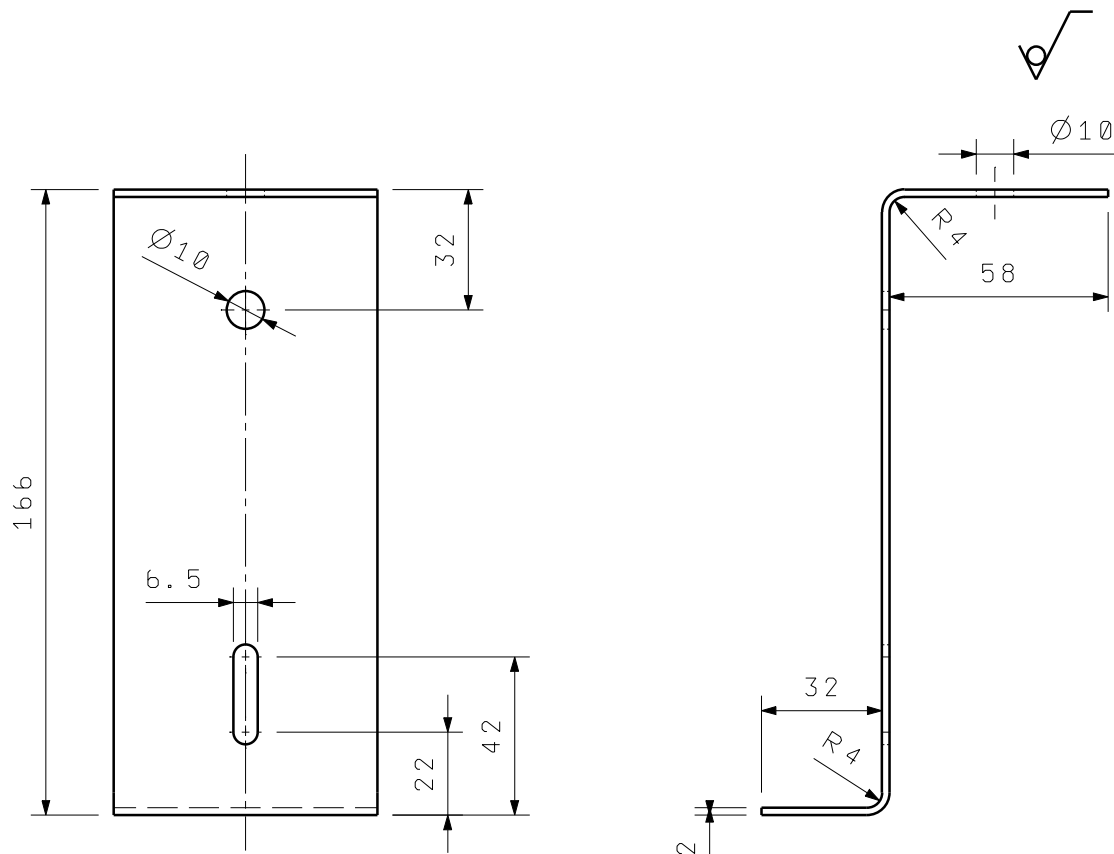


Broj naziva - code	Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb	
	Projektirao	xx.06.2014.	Igor Stefanić		
	Razradio	xx.06.2014.	Igor Stefanić		
	Crtao	xx.06.2014.	Igor Stefanić		
	Pregledao	xx.07.2014.	Mario Štorga		
ISO - tolerancije		Objekt:		Objekt broj:CM_01_07_04_02.00	
		Z-os		R. N. broj:----	
		Napomena:----		Kopija	
		Materijal: AlSiMg	Masa: 0,03kg		
			Naziv:	Pozicija:	
		Mjerilo originala	Donja ploca adaptera		
		1:1	1		
		Crtež broj: CM_01_07_04_02A.00			
		List: 1			

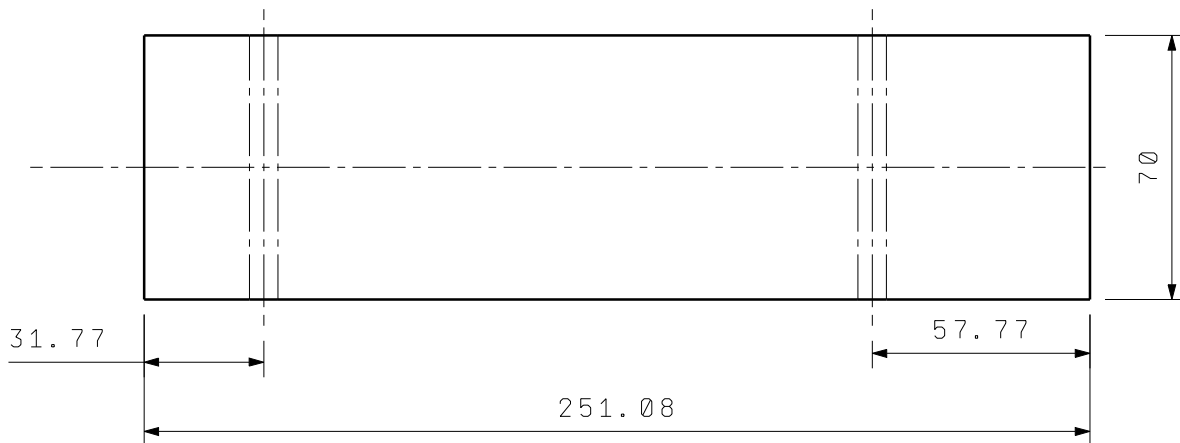



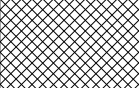
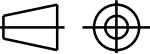
2	Nosac obujmice			1	CM_01_07_04_05B.00	S235JR	52x19x2	0,18kg	
1	Obujmica gorionika			1	CM_01_07_04_05A.00	S235JR	Ø27x1x40	0,03kg	
Poz.	Naziv crteža			Kom	Crtež broj	Materijal	Sirove dimenzije	Masa	
Broj naziva - code					Datum	Ime i prezime	Potpis	FSB Zagreb	
					Projektirao	xx.06.2014.	Igor Stefanić		
					Razradio	xx.06.2014.	Igor Stefanić		
					Crtao	xx.06.2014.	Igor Stefanić		
					Preledao	xx.07.2014.	Mario Storga		
ISO - tolerancije				Objekt: Z-os		Objekt broj:CM_01_07_04.00			
						R. N. broj:----			
				Napomena:----		Kopija			
				Materijal: S2335JR		Masa: 0,21kg			
				Naziv:		Nosáč gorionika		Pozicija: 6	
								Format: A4	
				Mjerilo originala		Listova:1			
				1:1		Crtež broj: CM_01_07_04_05.00			
						List: 1			



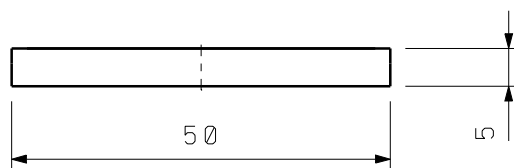
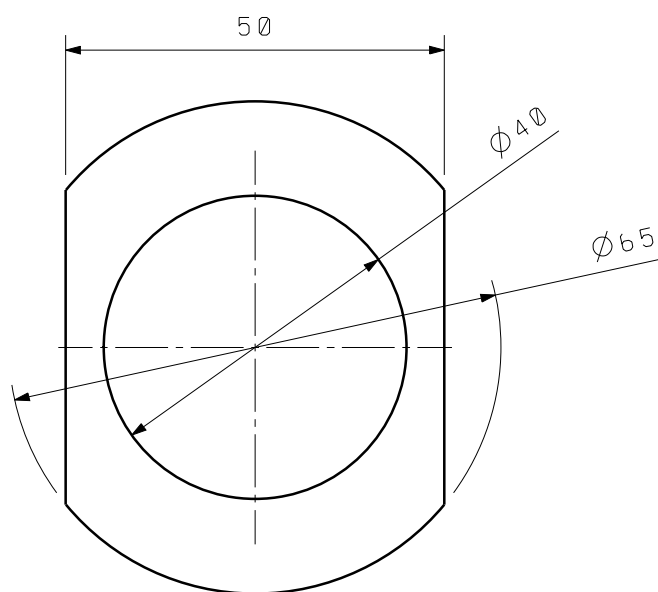




Razvijeno
M1: 2

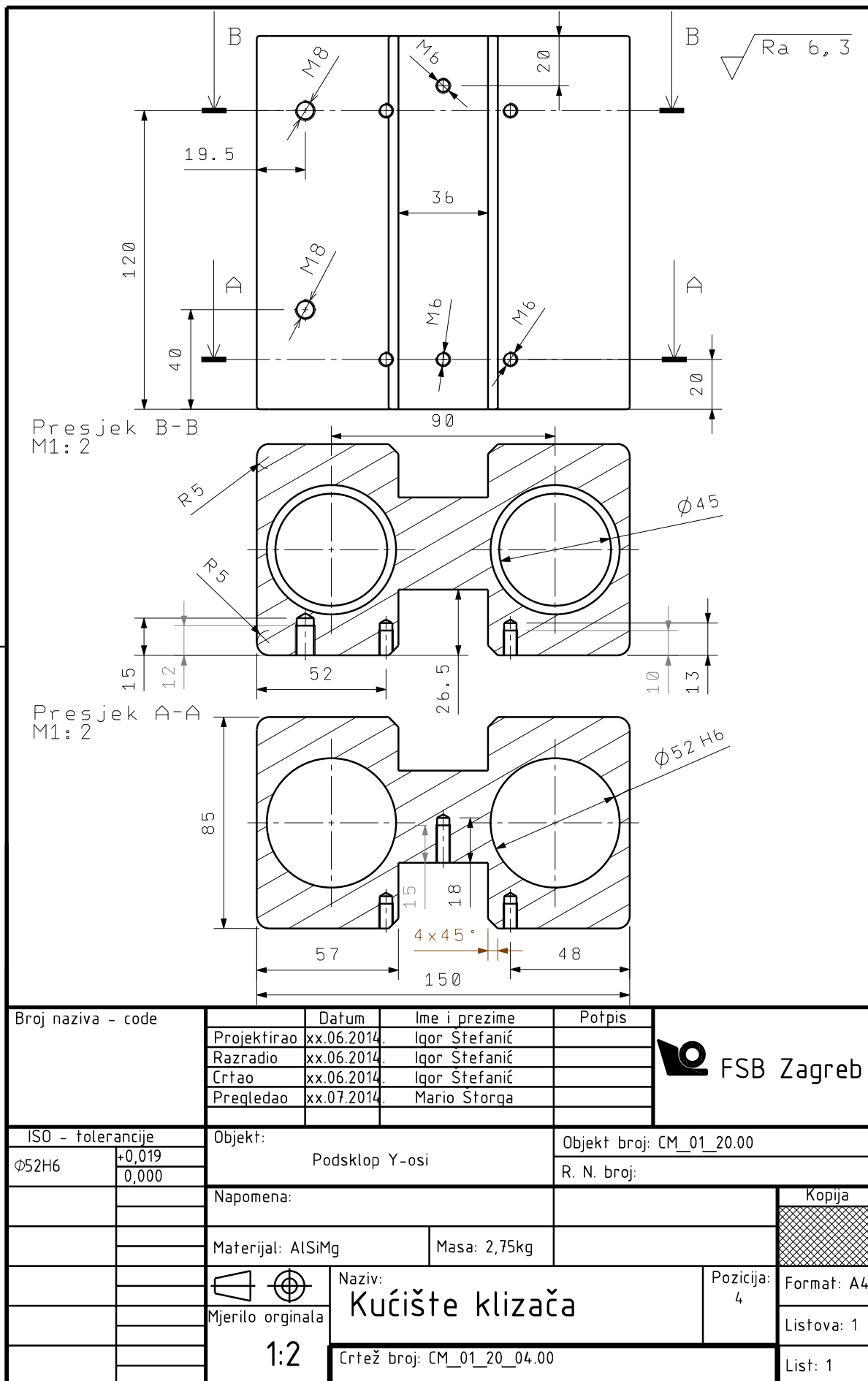


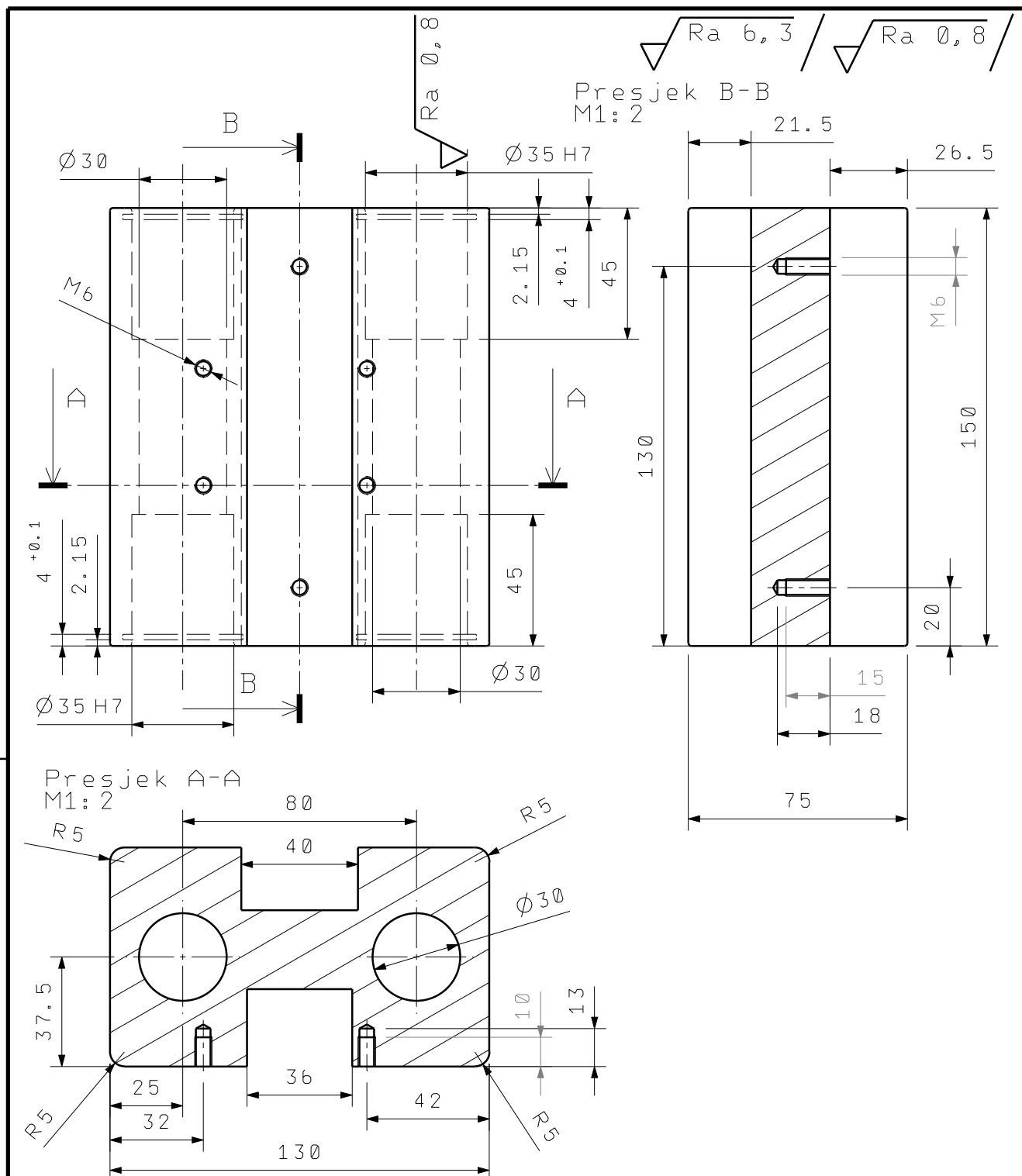
Broj naziva - code			Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb
		Projektirao	xx.06.2014.	Igor Štefanić		
		Razradio	xx.06.2014.	Igor Štefanić		
		Crtao	xx.06.2014.	Igor Štefanić		
		Pregledao	xx.07.2014.	Mario Štorga		
ISO - tolerancije		Objekt:			Objekt broj:CM_01_09.00	
		L-profil ukruta			R. N. broj:----	
		Napomena:-				Kopija
		---				
		Materijal: AlSiMg		Masa: 1,17kg		
			Naziv:			Pozicija:
		Mjerilo originala	Držač magneta			1
		1:2	Crtež broj: CM_01_09_01.00			Format: A4
						Listova:1
						List: 1


$\sqrt{Ra \ 6,3}$



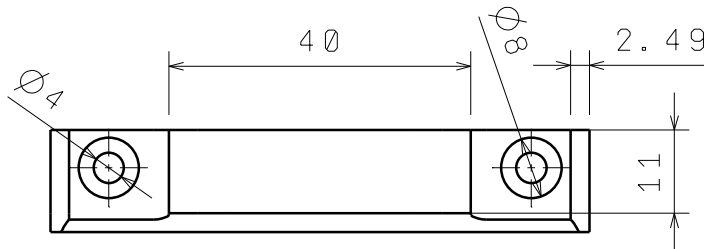
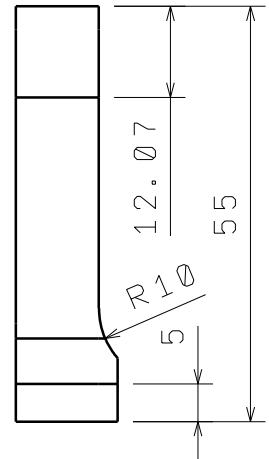
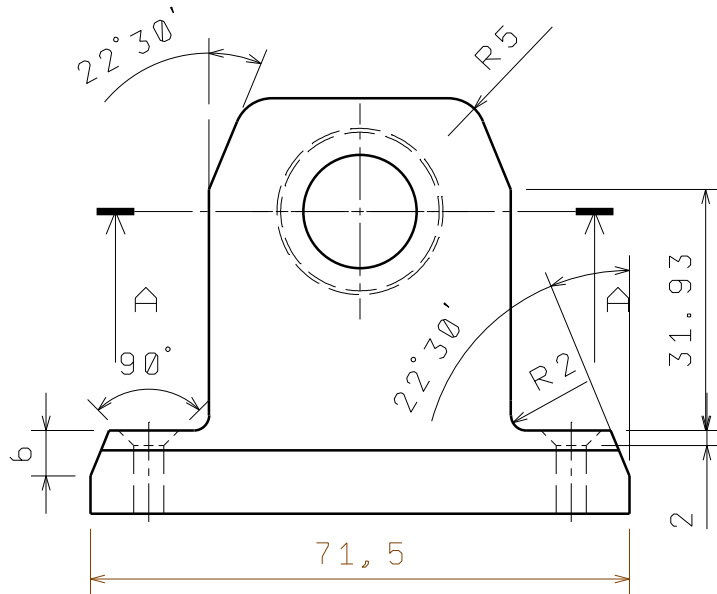
Broj naziva - code	Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb
	Projektirao xx.06.2014.	Igor Stefanić		
	Razradio xx.06.2014.	Igor Stefanić		
	Crtao xx.06.2014.	Igor Stefanić		
	Pregledao xx.07.2014.	Mario Štorga		
ISO - tolerancije	Objekt:		Objekt broj: CM_01_07_04_02.00	
	Adapter motora		R. N. broj: ----	
	Napomena: ----			Kopija
	Materijal: AlSiMg	Masa: 0,02kg		
		Naziv:	Pozicija:	Format: A4
	Mjerilo originala	Gornja ploca adaptera ³		Listova: 1
	1:1	Crtež broj: CM_01_07_04_02C.00		List: 1



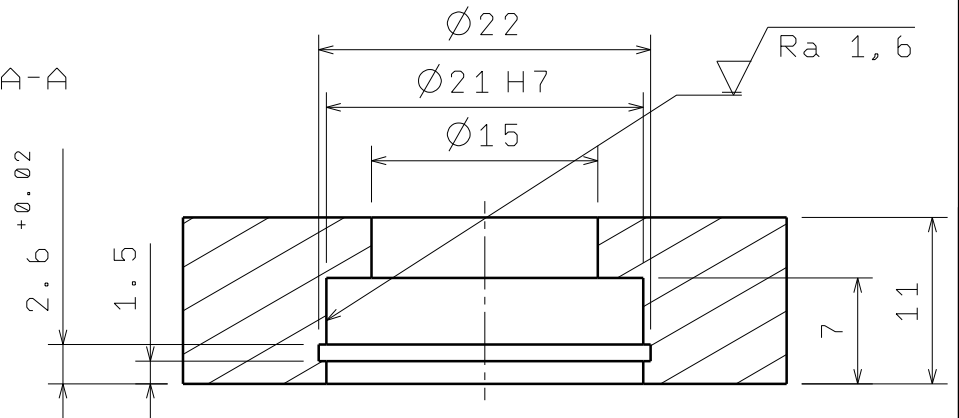



Broj naziva - code		Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb
		Projektirao	xx.06.2014. Igor Stefanić		
		Razradio	xx.06.2014. Igor Stefanić		
		Crtao	xx.06.2014. Igor Stefanić		
		Pregledao	xx.07.2014. Mario Storga		
ISO - tolerancije		Objekt:			Objekt broj:CM_01_07_03.00
Ø35H7	+0,025 0,000	Klizač X-osi			R. N. broj:----
		Napomena:----			Kopija
		Materijal: AlSiMg			Masa: 2,12kg
		Naziv:			Pozicija:
		Mjerilo originala			1
		1:2			Format: A4
		Crtež broj: CM_01_07_03_01.00			Listova:1
					List: 1

$\sqrt{Ra\ 6,3}$ / $\sqrt{Ra\ 1,6}$

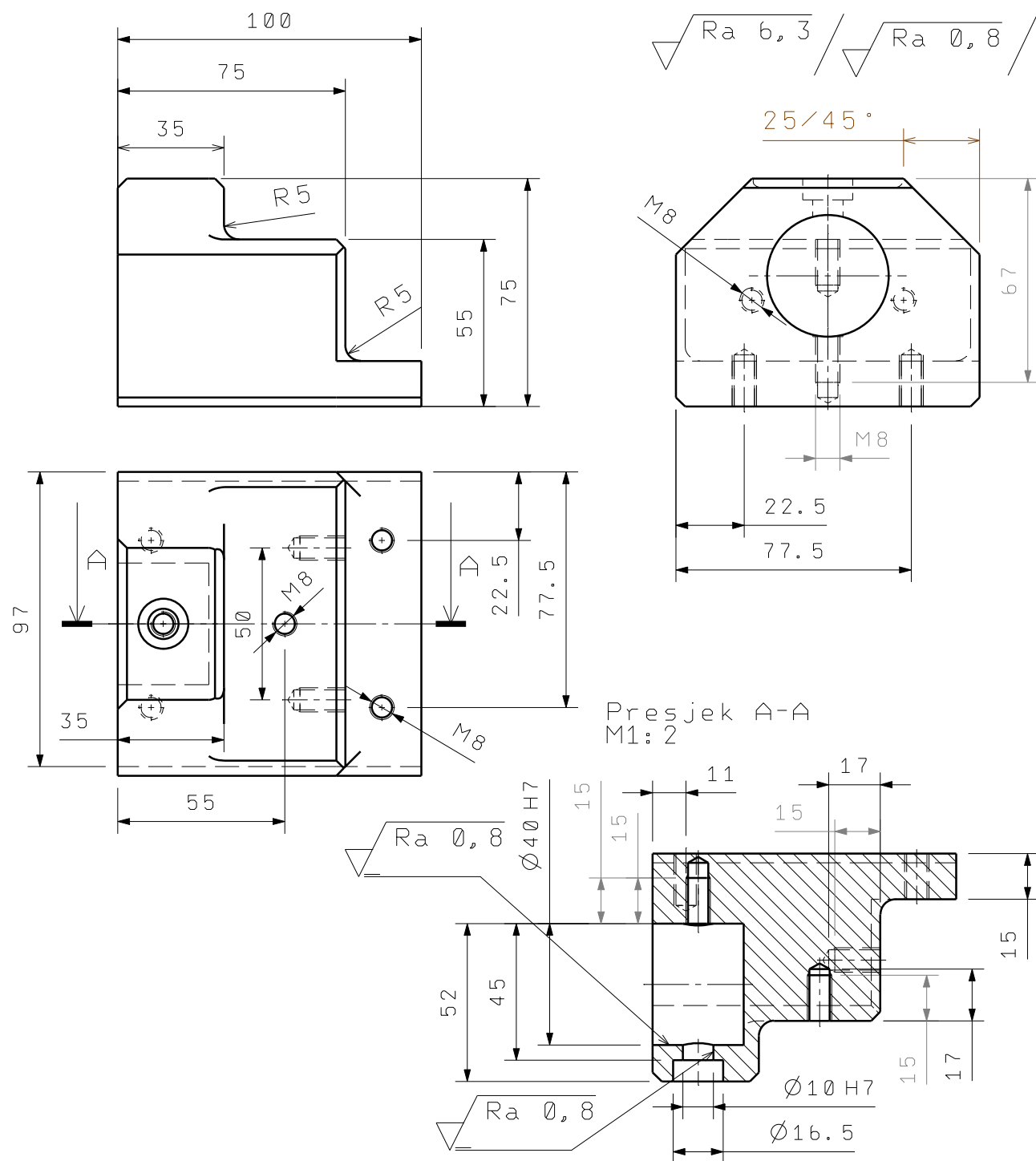


Presjek A-A
M2: 1


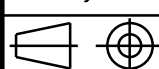


Broj naziva - code		Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb	
		Projektirao	xx.06.2014. Igor Štefanić			
		Razradio	xx.06.2014. Igor Štefanić			
		Crtao	xx.06.2014. Igor Štefanić			
		Pregledao	xx.07.2014. Mario Štorga			
ISO - tolerancije		Objekt:			Objekt broj: CM_01_07_05.00	
Ø21 H7	+0,021 0,000	Podsklop remenice			R. N. broj:	
		Napomena:			Kopija	
		Materijal: AlSiMg			Masa: 0,08kg	
		Naziv:			Pozicija: 2	
		Mjerilo originala			Format: A4	
		1:1			Listova: 1	
		Crtež broj: CM_01_07_05_02.00			List: 1	

Nosač ležaja

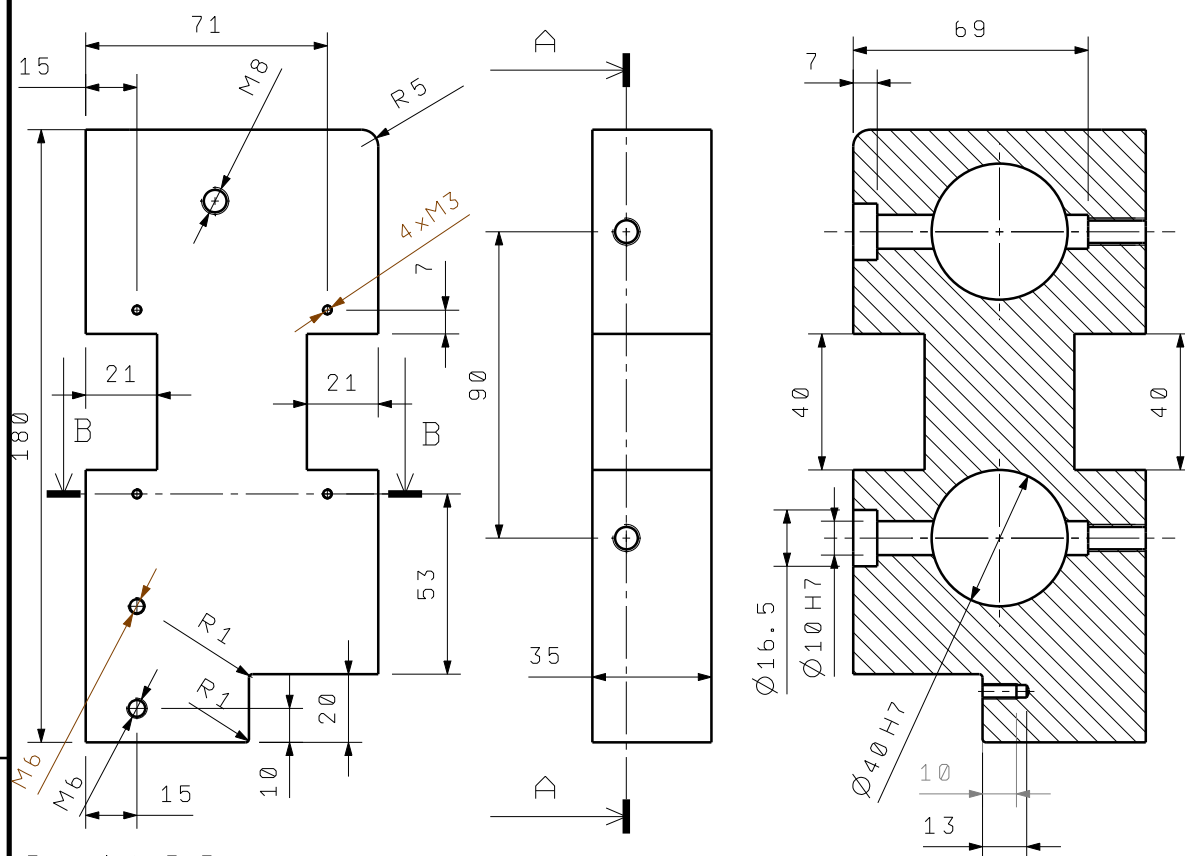


Napomena: Sve oštre bridove oboriti 3/45°!

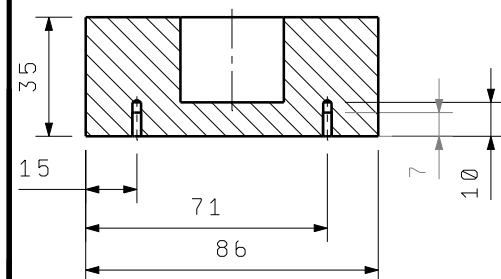
Broj naziva - code		Datum	Ime i prezime	Potpis	<div> FSB Zagreb</div>		
		Projektirao	xx.06.2014.	Igor Štefanić			
		Razradio	xx.06.2014.	Igor Štefanić			
		Crtao	xx.06.2014.	Igor Štefanić			
		Pregledao	xx.07.2014.	Mario Storga			
ISO - tolerancije		Objekt: Monoklizač		Objekt broj:CM_01_12.00			
φ40H7	+0,025 0,000			R. N. broj:----			
φ10H7	+0,015 0,000	Napomena:----			Kopija		
		Materijal: AlSiMg		Masa: 1,23kg			
			Naziv: Nosač šipke manji		Pozicija: 1	Format: A4	
					Mjerilo originala	Listova:1	
		1:2	Crtež broj: CM_01_12_01.00		List: 1		


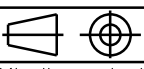
√ Ra6,3

Presjek A-A
M1:2

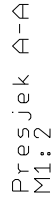


Presjek B-B
M1:2




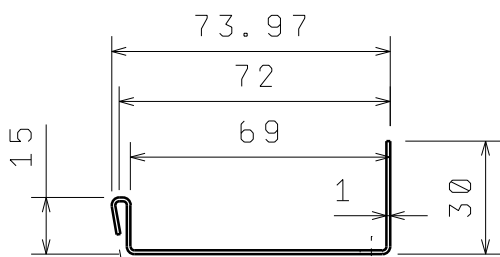
Broj naziva - code		Datum		Ime i prezime		Potpis		<div> FSB Zagreb</div>	
		Projektirao		xx.06.2014.		Igor Stefanić			
		Razradio		xx.06.2014.		Igor Stefanić			
		Crtao		xx.06.2014.		Igor Stefanić			
		Pregledao		xx.07.2014.		Mario Storga			
ISO - tolerancije		Objekt:				Objekt broj: CM_01_20.00			
Ø10H7	+0,015 0,000	Podsklop Y-osi				R. N. broj:			
Ø40H7	+0,025 0,000	Napomena:				Kopija			
		Materijal: AlSiMg		Masa: 1,10kg					
				Naziv:			Pozicija:		Format: A4
		Mjerilo originala		Nosač šipki 1			2		
		1:2		Crtež broj: CM_01_20_02.00				Listova: 1	
								List: 1	

Design by CADLab

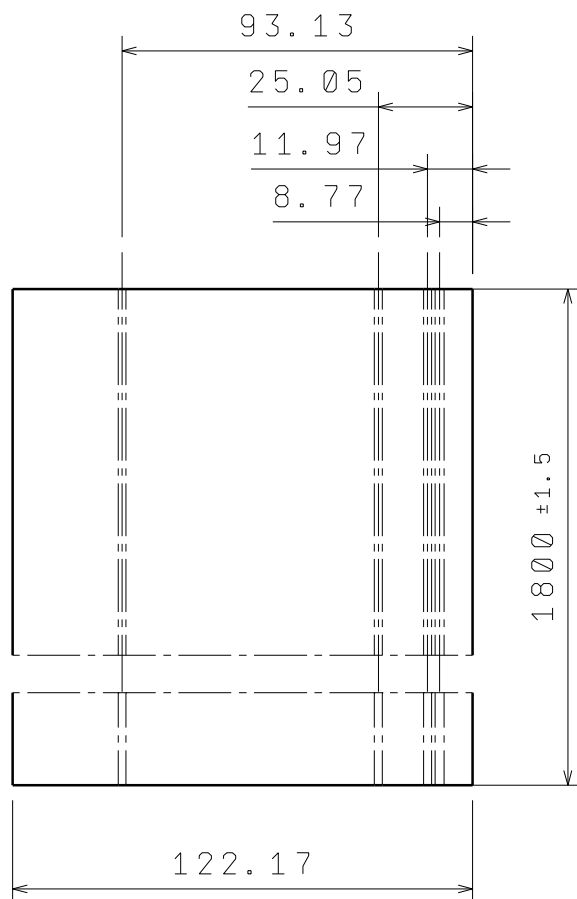
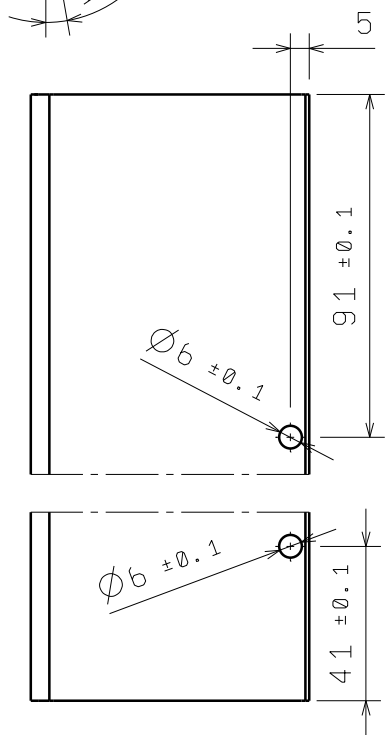


Mjerilo originala


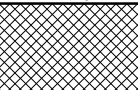




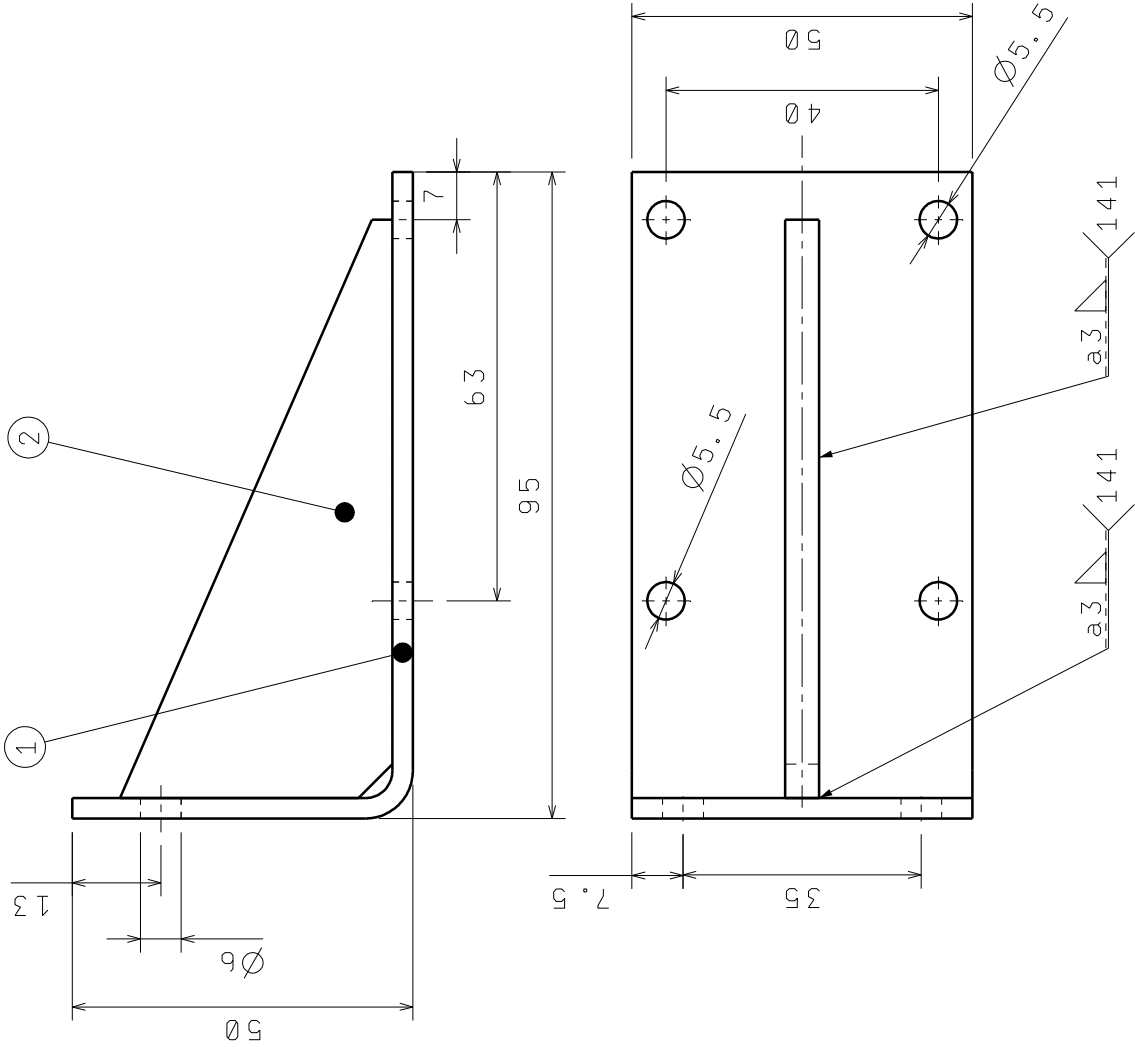


Razvijeno M1: 2



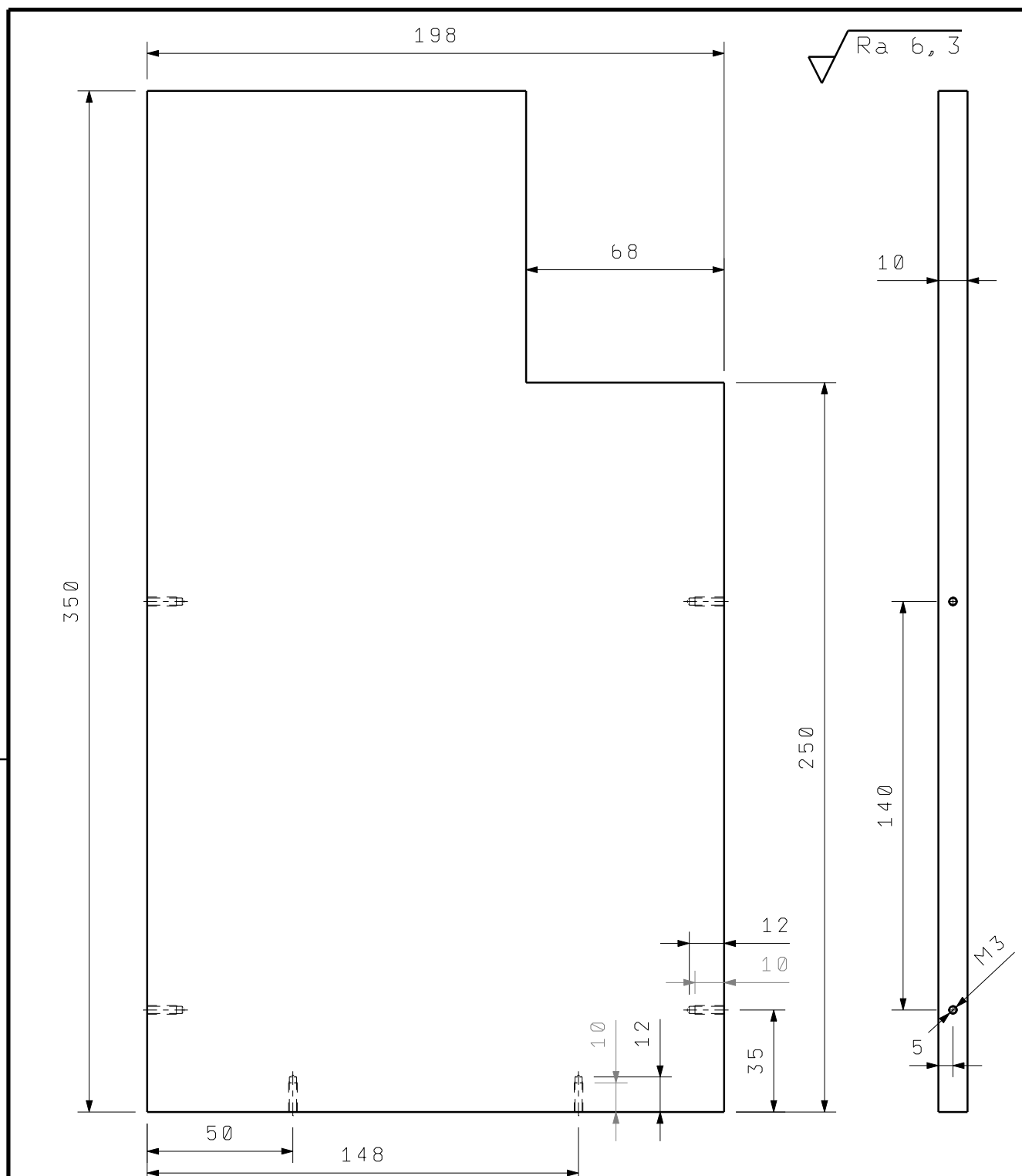
Napomena: Svi radijusi savijanja iznose $R=2\text{mm}$.
Oboriti sve oštre rubove!

Broj naziva - code	Datum		Ime i prezime		Potpis	 FSB Zagreb
	Projektirao	xx.06.2014.	Igor Stefanić			
	Razradio	xx.06.2014.	Igor Stefanić			
	Crtao	xx.06.2014.	Igor Stefanić			
	Pregledao	xx.07.2014.	Mario Štorga			
ISO - tolerancije		Objekt:			Objekt broj:CM_01.00	
		Cutter master 1500			R. N. broj:---	
		Napomena:----				Kopija
						
		Materijal: S235JR		Masa: 1,74kg		
		 	Naziv:			Pozicija:
		Mjerilo originala	Nosač vodilice			8
		1:2	Crtež broj:CM_01_08.00			Format: A4
						Listova:1
						List: 1

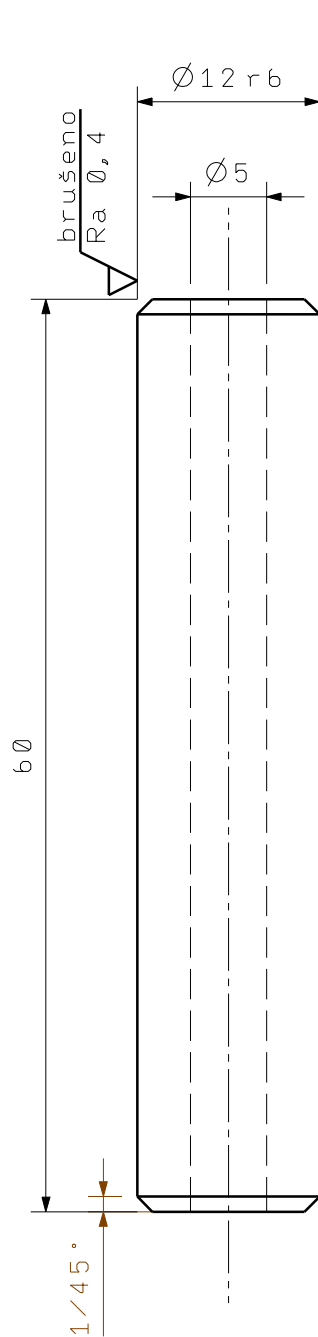


Napomena: Provrtite bušiti nakon zavarivanja.
Sve oštre rubove obraditi 1/45°.


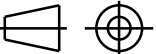
2	Rebro nosaca Z osi	1	CM_01_07_04_11B.00	AlSiMg	85x37x5	0,03kg	
1	Ploca nosaca Z osi	1	CM_01_07_04_11A.00	AlSiMg	95x50x50	0,06kg	
Poz.	Naziv crteža	Kom	Crtež broj	Materijal	Sirove dimenzije	Masa	
Broj naziva - code		Datum	Ime i prezime		Potpis		
		Projektirao	xx.06.2014.	Igor Stefanić			
		Razradio	xx.06.2014.	Igor Stefanić			
		Crtao	xx.06.2014.	Igor Stefanić			
		Pregledao	xx.07.2014.	Mario Storga			
ISO - tolerancije		Objekt: Z-os		Objekt broj:CM_01_07_04.00			
		Napomena:----		R. N. broj:----			
		Materijal: ----		Kopija			
		Masa: 0,1kg					
		Naziv: Nosać Z osi		Pozicija: 11			
		Mjerilo originala		Format: A4			
		1:1		Listova:1			
		Crtež broj: CM_01_07_04_11.00		List: 1			



Broj naziva - code		Datum	Igor Stefanić		Potpis	
		Projektirao	xx.06.2014.	Igor Stefanić		
		Razradio	xx.06.2014.	Igor Stefanić		
		Crtao	xx.06.2014.	Igor Stefanić		
		Pregledao	xx.07.2014.	Mario Storga		
ISO - tolerancije		Objekt:			Objekt broj: CM_01_01.00	
		Kućište motora Y-osi			R. N. broj: ----	
		Napomena: ----				
		Materijal: AlSiMg		Masa: 1,67kg		
					Kopija	
		Naziv:			Pozicija:	Format: A4
		Nos. pl. el. upravlj.			4	Listova: 1
		Mjerilo originala				
		1:2			Crtež broj: CM_01_01_04.00	
					List: 1	

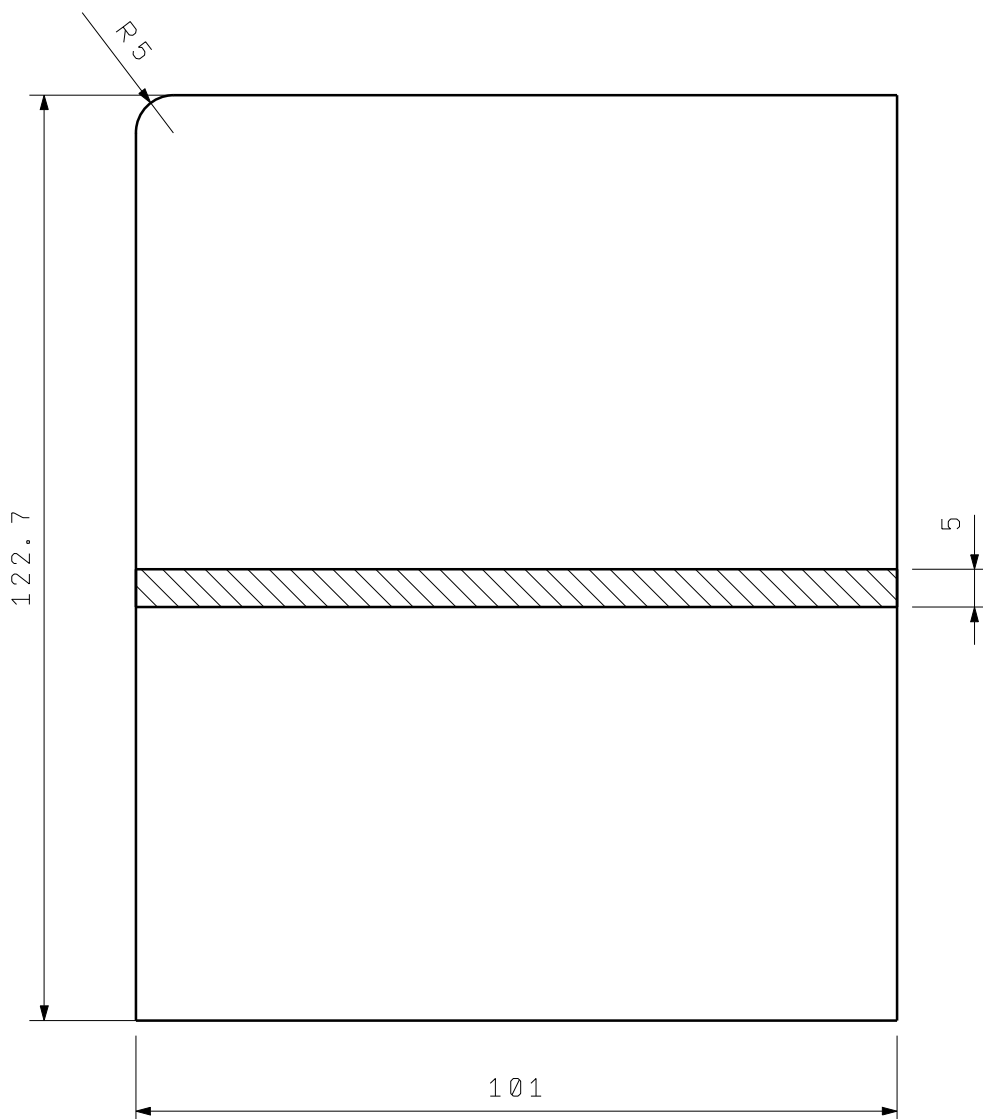



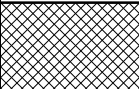
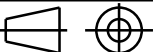
$\sqrt{\text{Ra } 6,3}$ / $\sqrt{\text{brušeno Ra } 0,4}$

Broj naziva - code		Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb		
		Projektirao	xx.06.2014.	Igor Stefanić			
		Razradio	xx.06.2014.	Igor Stefanić			
		Crtao	xx.06.2014.	Igor Stefanić			
		Pregledao	xx.07.2014.	Mario Storga			
ISO - tolerancije		Objekt:			Objekt broj: CM_01_07_05.00		
		Podsklop remenice			R. N. broj:		
		Napomena:				Kopija	
		Materijal: 42CrMo4		Masa: 0,08kg			
		 Naziv: Osovinica			Pozicija: 5	Format: A4	
					Mjerilo originala	Listova: 1	
		2:1	Crtež broj: CM_01_07_05_05.00			List: 1	

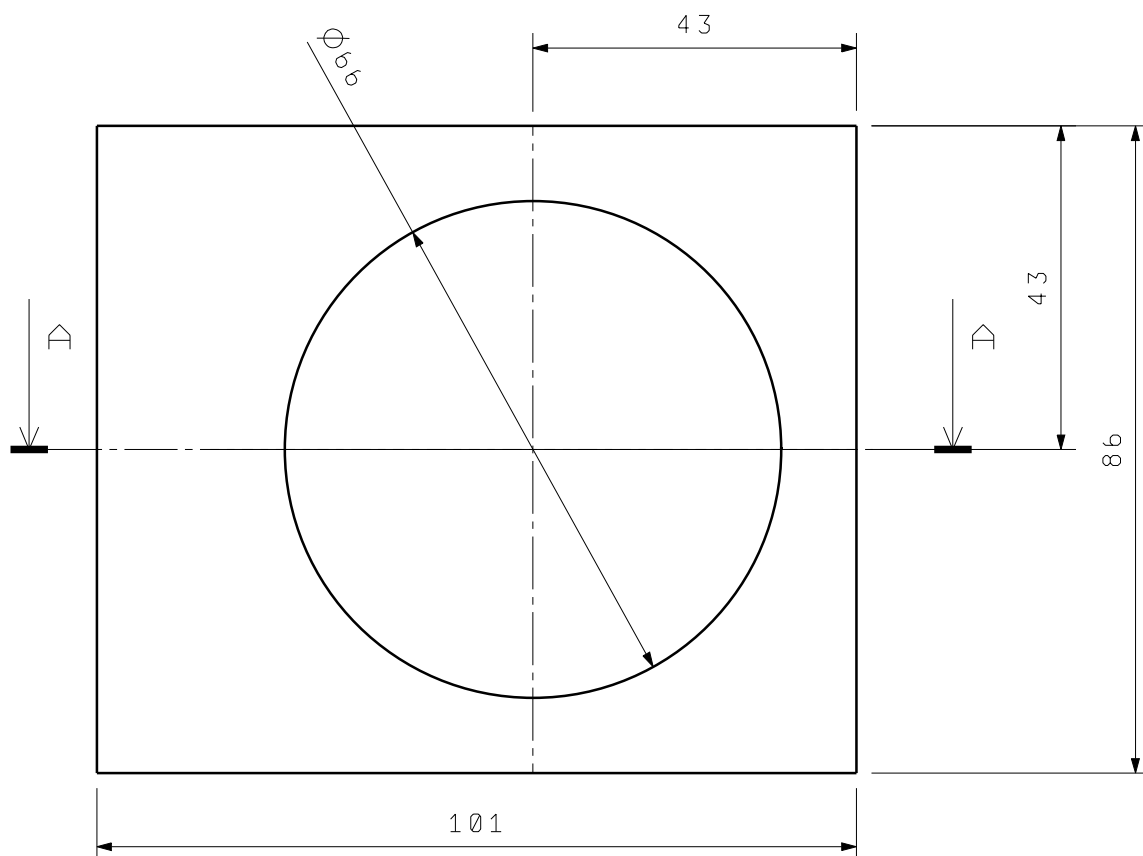
Design by CADLab

$\sqrt{Ra \ 6,3}$

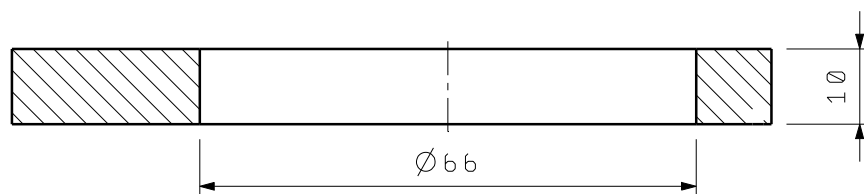



Broj naziva - code		Datum		Ime i prezime		Potpis		<div> FSB Zagreb</div>	
		Projektirao		xx.06.2014.		Igor Stefanić			
		Razradio		xx.06.2014.		Igor Stefanić			
		Crtao		xx.06.2014.		Igor Stefanić			
		Pregledao		xx.07.2014.		Mario Storga			
ISO - tolerancije		Objekt:				Objekt broj:CM__01__01.00, CM__01__02.00			
		Kućište motora Y-osi, Kućište motora X-osi				R. N. broj:----			
		Napomena:----						Kopija	
		Materijal: AlSiMg		Masa: 0,18kg					
				Naziv:			Pozicija:		Format: A4
		Mjerilo originala		Ploča motora 1 i 3			1		Listova:1
		1:1		Crtež broj: CM__01__01_01.00					List: 1

$\sqrt{Ra\ 6,3}$

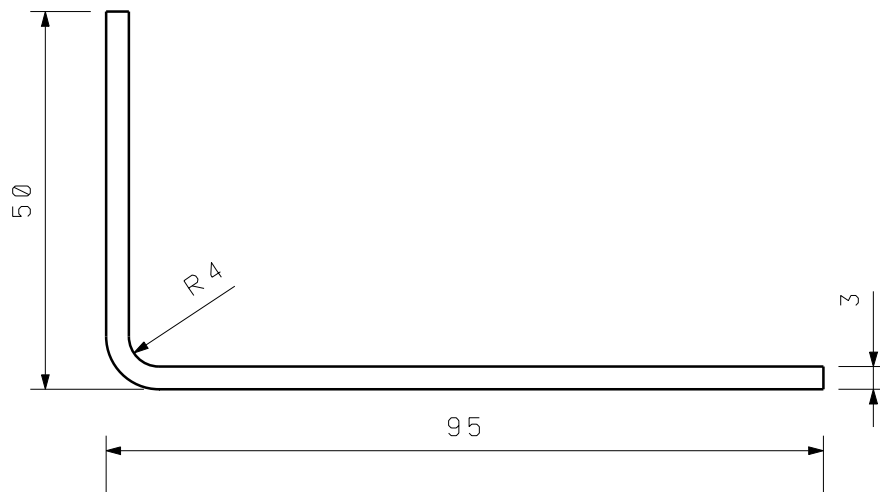


Presjek A-A
M1: 1

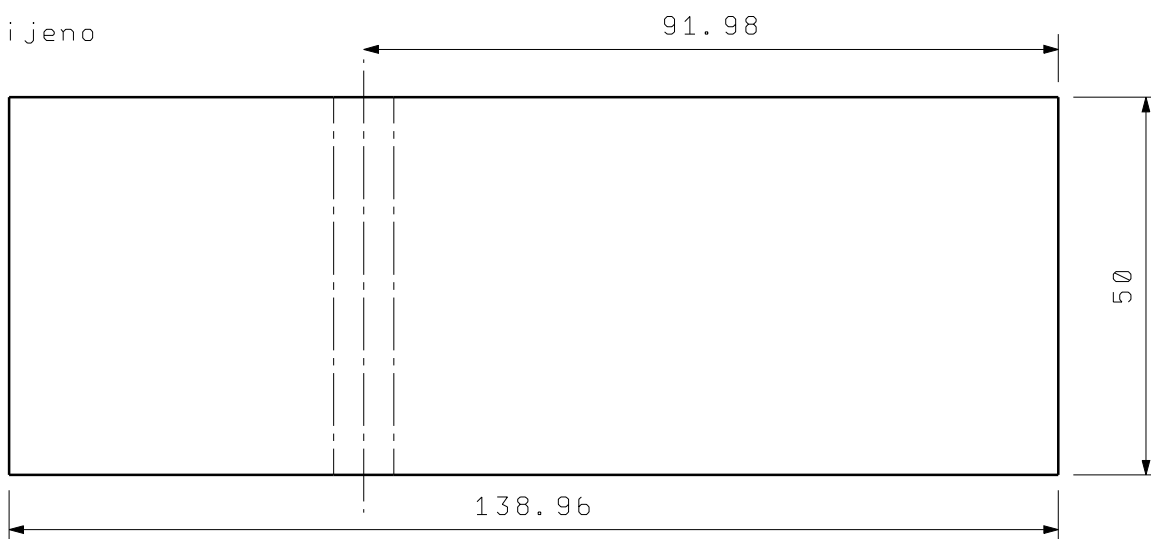





Broj naziva - code		Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb	
		Projektirao	xx.06.2014. Igor Stefanić			
		Razradio	xx.06.2014. Igor Stefanić			
		Crtao	xx.06.2014. Igor Stefanić			
		Pregledao	xx.07.2014. Mario Storga			
ISO - tolerancije		Objekt:			Objekt broj: CM_01_01.00	
		Kućište motora Y-osi			R. N. broj: ----	
		Napomena: ----			Kopija	
		Materijal: AlSiMg			Masa: 0,14kg	
		Naziv:			Pozicija:	
		Ploča motora 2			2	
		Mjerilo originala			Format: A4	
		1:1			Listova: 1	
		Crtež broj: CM_01_01_02.00			List: 1	

$\sqrt{Ra\ 6,3}$

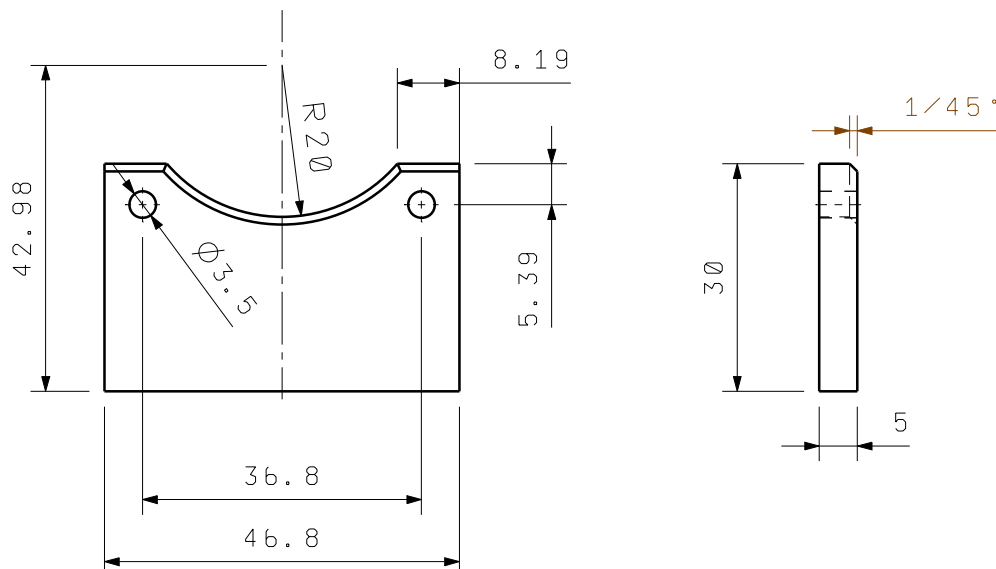



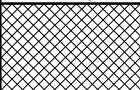
Razvijeno
M1: 1


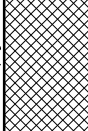



Broj naziva - code		Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb	
		Projektirao	xx.06.2014.	Igor Stefanić		
		Razradio	xx.06.2014.	Igor Stefanić		
		Crtao	xx.06.2014.	Igor Stefanić		
		Pregledao	xx.07.2014.	Mario Storga		
ISO - tolerancije		Objekt:		Objekt broj: CM_01_07_04_11.00		
		Nosač Z-osi		R. N. broj:		
		Napomena:		Kopija		
		Materijal: AlSiMg		Masa: 0,06kg		
		  Naziv:		Pozicija:	Format: A4	
		Mjerilo originala		1	Listova: 1	
		1:1		Crtež broj: CM_01_07_04_11A.00		
				List: 1		

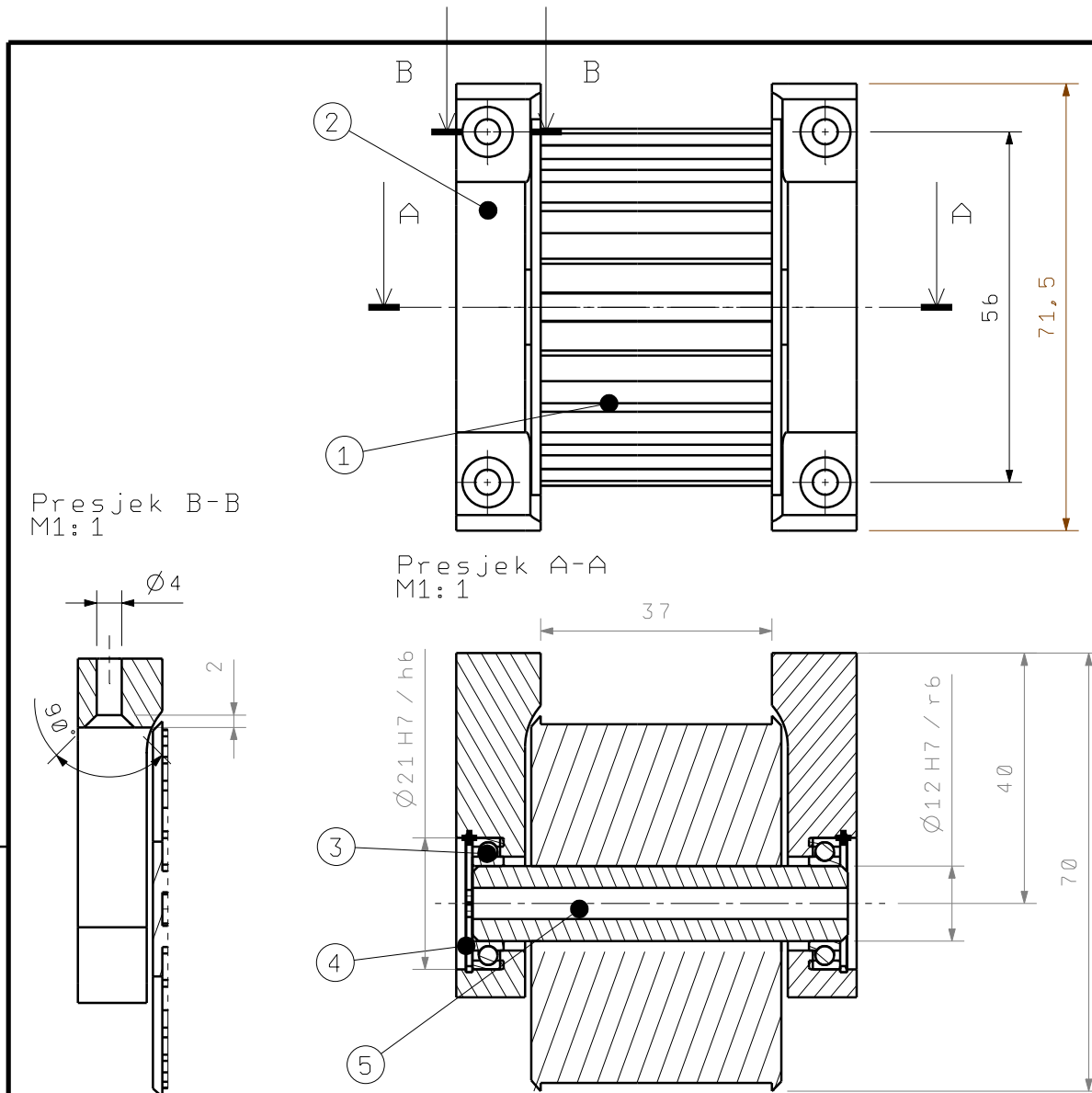
$\sqrt{Ra\ 6,3}$


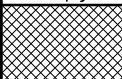
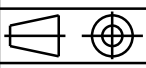


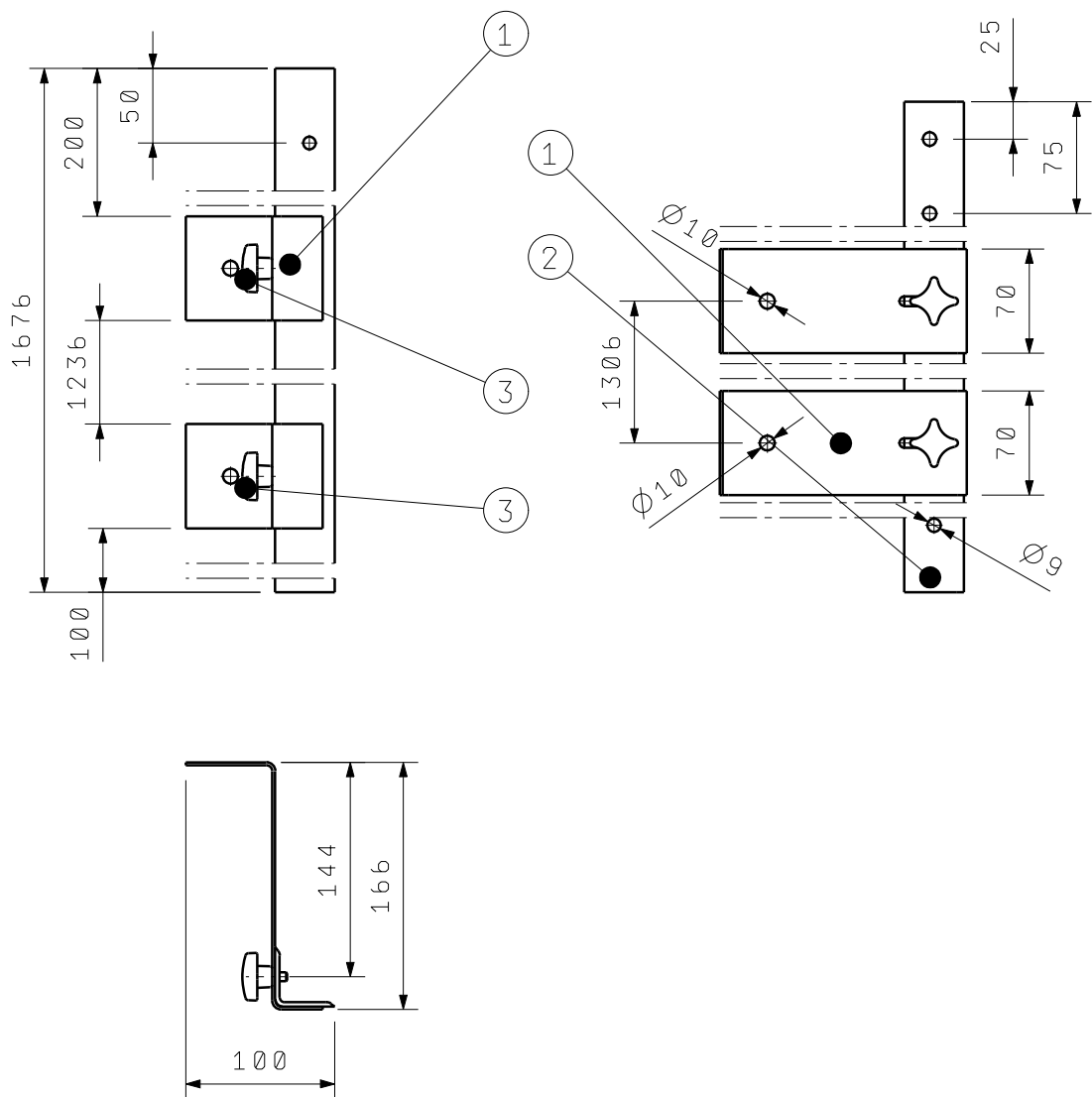
Broj naziva - code		Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb	
		Projektirao	xx.06.2014.	Igor Stefanić		
		Razradio	xx.06.2014.	Igor Stefanić		
		Crtao	xx.06.2014.	Igor Stefanić		
		Pregledao	xx.07.2014.	Mario Storga		
ISO - tolerancije		Objekt:		Objekt broj: CM_01_01.00		
		Kućište motora Y-osi		R. N. broj: ----		
		Napomena: ----		Kopija		
		Materijal: AlSiMg		Masa: 0,02kg		
		Naziv:		Pozicija:		
		Ploča prihвата motora		4		
		Crtež broj: CM_01_01_03.00				
		Mjerilo originala		Format: A4	Listova: 1	
		1:1		List: 1		

5	Zubna letva	1	CM_01_07_03_05.00	AlSiMg	36x150x10	0,12kg		
4	Segerov prsten	4	DIN972	---	Ø40	3g		
3	Imbus vijak	2	ISO4762	8.8	M6x16	0,06kg		
2	Lezaj za linearna gibanja	2	B8DBK425PP	---	Ø40/Ø25	0,13kg		
1	Kuciste klizaca x-osi	1	CM_01_07_03_01.00	AlSiMg	150x130x75	2,12kg		
Poz.	Naziv crteža	Kom	Crtež broj	Materijal	Sirove dimenzije	Masa		
Broj naziva - code		Datum	Ime i prezime	Potpis	<div> FSB Zagreb</div>			
		Projektirao	xx.06.2014.	Igor Štefanić				
		Razradio	xx.06.2014.	Igor Štefanić				
		Crtao	xx.06.2014.	Igor Štefanić				
		Pregledao	xx.07.2014.	Mario Štorga				
ISO - tolerancije		Objekt:		Objekt broj:CM_01_07.00				
+0,006		Podsklop X-osi		R. N. broj:----				
-0,006								
		Napomena:-		<div>Kopija</div> <div></div>				

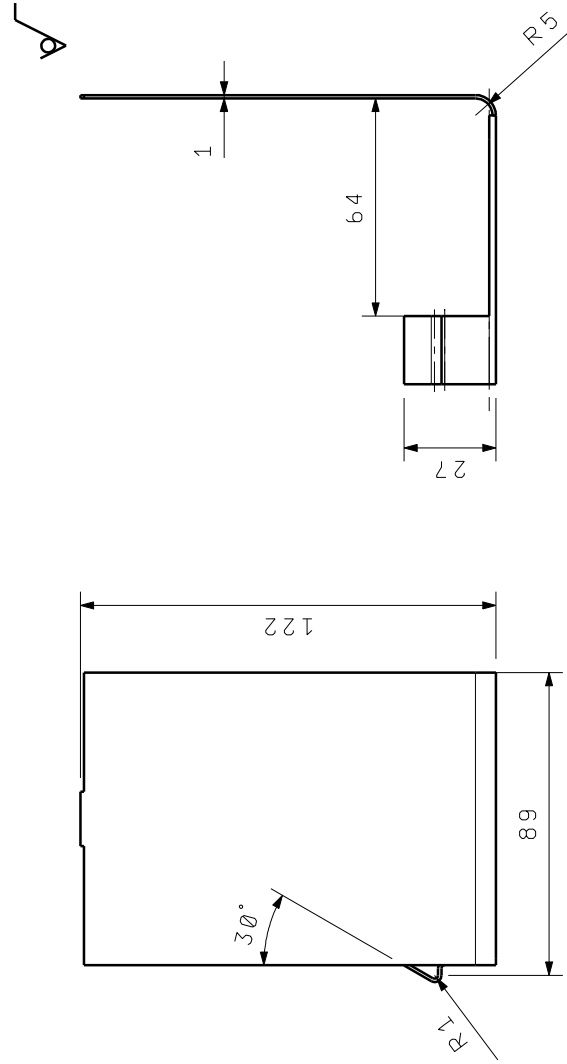
		Materijal: ----		Format: A4				
				Pozicija: 3				
		Mjerilo originala						
		1:2		Crtež broj: CM_01_07_03.00				



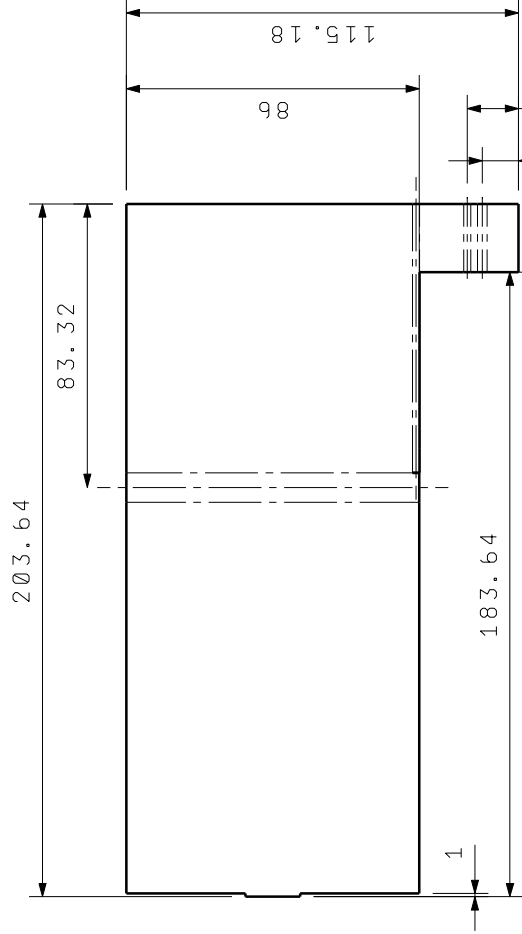
5	Osovinica	1	CM_01_07_05_05.00	42CrMo4	Ø12x60	0,08	
4	Segerov prsten	2	DIN972	---	Ø21	3g	
3	Kuglicni ležaj	2	61801	---	Ø21/Ø12x5	0,2kg	
2	Nosac ležaja	2	CM_01_07_05_02.00	AlSiMg	70x55x13,5	0,07kg	
1	Remenica Ø57,3	1	A9-47T10-18F	Al	Ø57,3x47	0,12kg	
Poz.	Naziv crteža	Kom	Crtež broj	Materijal	Sirove dimenzije	Masa	
Broj naziva - code		Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb		
		Projektirao	xx.06.2014.	Igor Stefanić			
		Razradio	xx.06.2014.	Igor Stefanić			
		Crtao	xx.06.2014.	Igor Stefanić			
		Pregledao	xx.07.2014.	Mario Storga			
ISO - tolerancije		Objekt:		Objekt broj:CM_01_07.00			
Ø12H7/r6	-0,005	Podsklop X-osi		R. N. broj:----			
	-0,034						
		Napomena:----			Kopija		
		Materijal: ----		Masa:0,75kg			
			Naziv: Podsklop remenice		Pozicija: 5	Format: A4	
						Listova:1	
		1:1	Crtež broj: CM_01_07_05.00		List: 1		



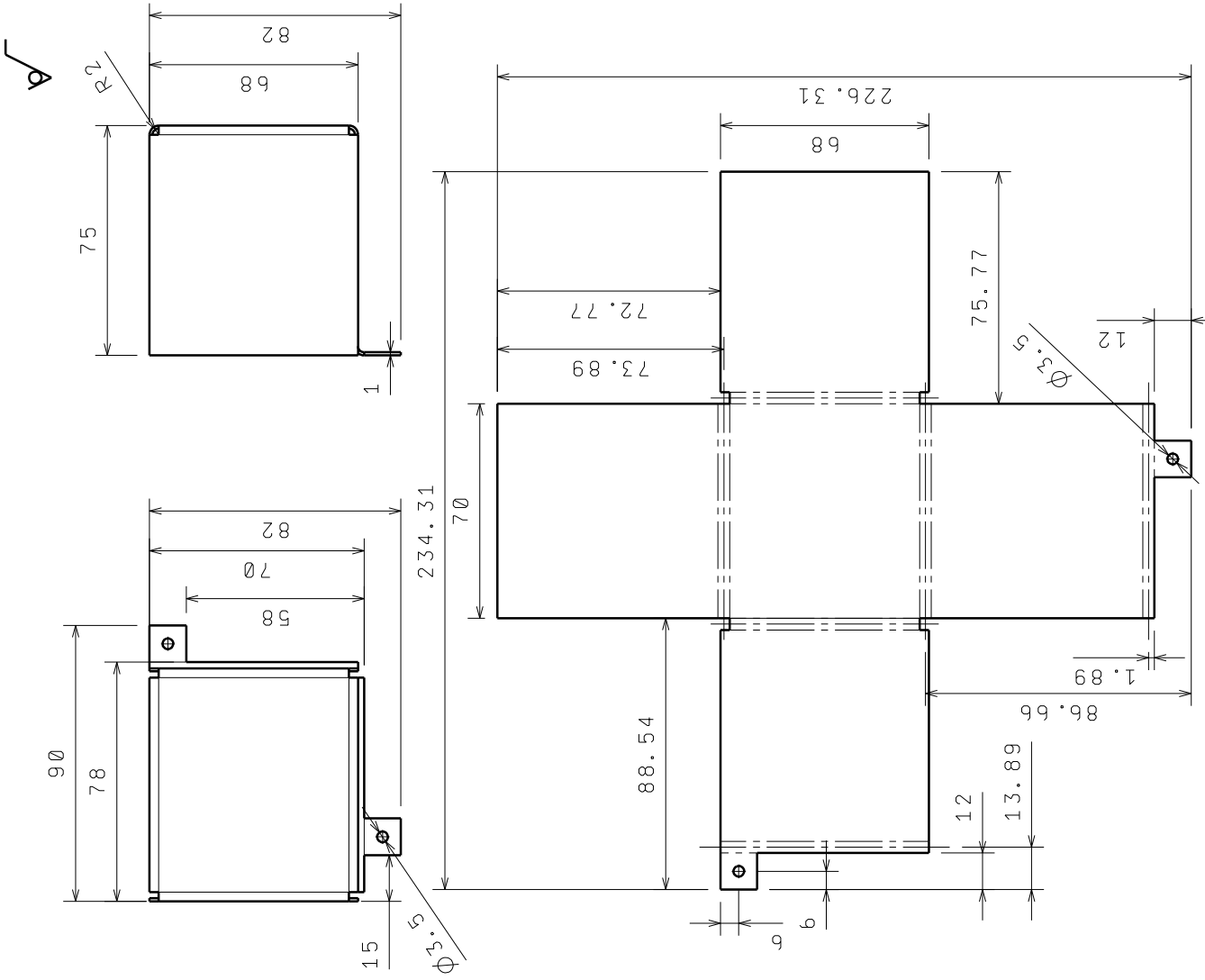
3	Rucni zatezac ganter		2	gn_6335m6	---	M6x10	---
2	L-profil		1		AlSiMg	40x40x3	0,97kg
1	Držac magneta		2	CM_01_09_01.00	AlSiMg	168x100x70	0,1kg
Poz.	Naziv crteža		Kom	Crtež broj	Materijal	Sirove dimenzije	Masa
Broj naziva - code			Datum	Ime i prezime		Potpis	<div> FSB Zagreb</div>
		Projektirao	xx.06.2014.	Igor Štefanić			
		Razradio	xx.06.2014.	Igor Štefanić			
		Crtao	xx.06.2014.	Igor Štefanić			
		Pregledao	xx.07.2014.	Mario Štorga			
ISO - tolerancije		Objekt:			Objekt broj:CM_01_09.00		
		Cutter Master 1500			R. N. broj:----		
		Napomena:-				Kopija	
		---				<div></div>	
		Materijal: ----		Masa: 1,17kg			
			Naziv:			Pozicija:	Format: A4
		Mjerilo originala	L-profil ukruta			9	Listova:1
		1:5	Crtež broj: CM_01_09.00				List: 1




Razvijenio
M1:2

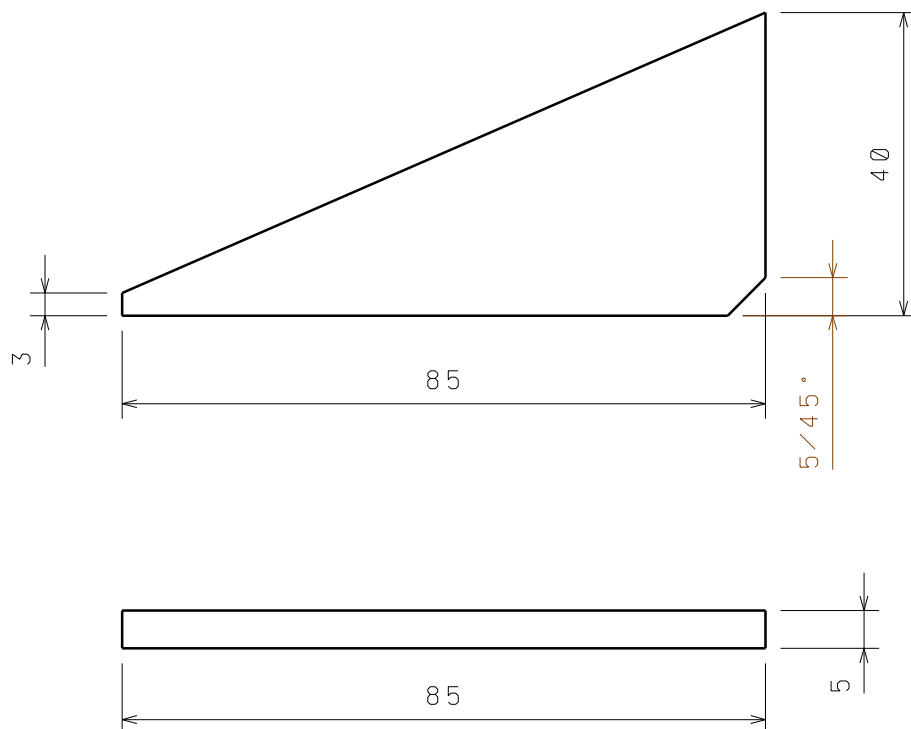




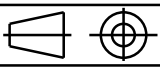
Broj naziva - code		Datum	Ime i prezime	Potpis	FSB Zagreb	
ISO - tolerancije		Projektirao xx.06.2014.	Igor Stefanić			
		Razradio xx.06.2014.	Igor Stefanić			
		Crtao xx.06.2014.	Igor Stefanić			
		Pregledao xx.07.2014.	Mario Storga			
		Objekt: Cutter Master 1500		Objekt broj: CM_01.00		
		Napomena:		R. N. broj:		
		Materijal: S235JR		Masa: 0,14kg		
		Mjerilo originala		Naziv: Poklopac motora X-osi		
		1:2		Pozicija: 4		
				Format: A4		
				Listova: 1		
				List: 1		

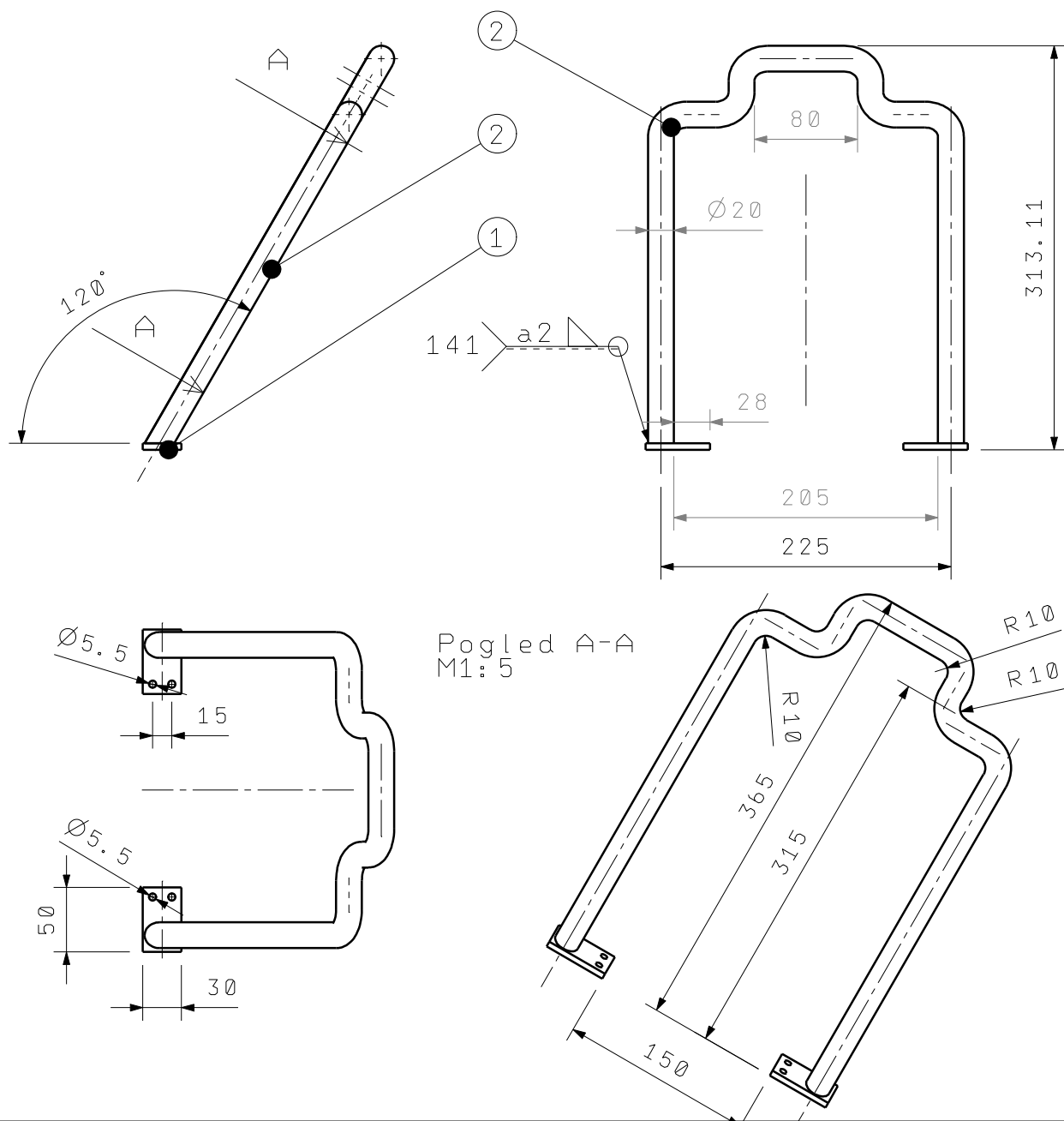



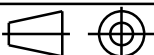
Broj naziva - code		Datum	Ime i prezime		Potpis	FSB Zagreb	
ISO - tolerancije		Projektirao xx.06.2014.	Igor Stefanić			Objekt broj: CM_01.00	
		Razradio xx.06.2014.	Igor Stefanić			R. N. broj:	
		Crtao xx.06.2014.	Igor Stefanić			Kopija	
		Pregledao xx.07.2014.	Mario Storga			Format: A4	
		Objekt: Cutter Master 1500		Materijal: S235JR		Masa: 0,20kg	
		Napomena:		Naziv: Poklopac remenice		Pozicija: 3	
		Mjerilo originala		1:2		Listova: 1	
						List: 1	

 Ra 6,3

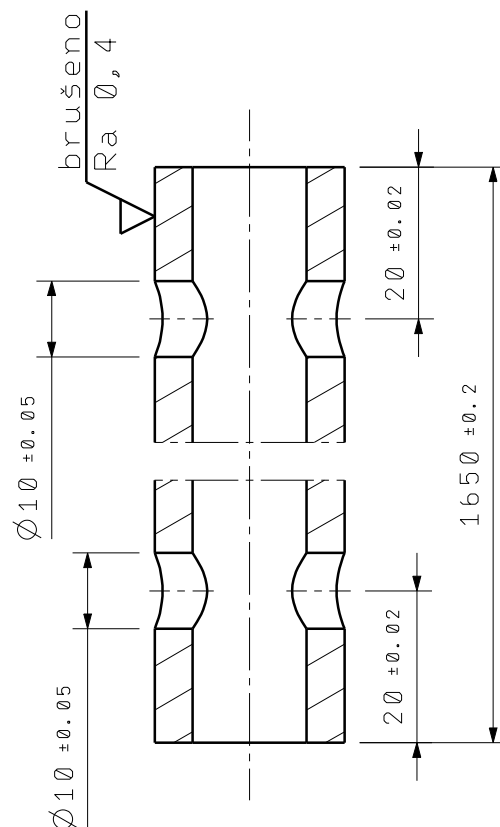


Broj naziva - code		Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb	
		Projektirao	xx.06.2014.	Igor Stefanić		
		Razradio	xx.06.2014.	Igor Stefanić		
		Crtao	xx.06.2014.	Igor Stefanić		
		Pregledao	xx.07.2014.	Mario Storga		
ISO - tolerancije		Objekt:		Objekt broj: CM_01_07_04_11.00		
		Nosač Z-osi		R. N. broj:		
		Napomena:		Kopija		
		Materijal: AlSiMg		Masa: 0,03kg		
		 Naziv:		Pozicija: 2		
		Mjerilo originala		Format: A4		
		1:1		Listova: 1		
		Crtež broj: CM_01_07_04_11B.00			List: 1	

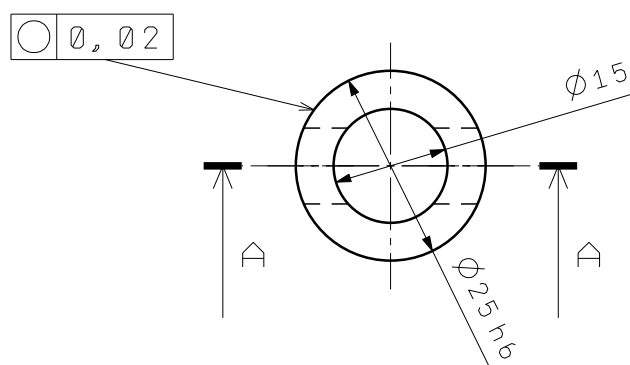


2	Cijev rucke	1		AlSiMg	Ø20x1x870	0,15kg	
1	Plocica rucke	2		AlSiMg	50x30x5	0,02kg	
Poz.	Naziv crteža		Kom	Crtež broj	Materijal	Sirove dimenzije	Masa
Broj naziva - code			Datum	Ime i prezime	Potpis	<div> FSB Zagreb</div>	
		Projektirao	xx.06.2014.	Igor Štefanić			
		Razradio	xx.06.2014.	Igor Štefanić			
		Crtao	xx.06.2014.	Igor Štefanić			
		Pregledao	xx.07.2014.	Mario Štorga			
ISO - tolerancije		Objekt:			Objekt broj:CM_01.00		
		Cutter Master 1500			R. N. broj:----		
		Napomena:----			Kopija		
		Materijal: ----		Masa: 0,17kg			
			Naziv:			Pozicija:	Format: A4
		Mjerilo originala	Ručka za vuču			13	Listova:1
		1:5	Crtež broj: CM_01_13.00			List: 1	


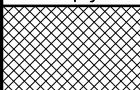
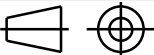
Presjek A-A
M1:1



brušeno
Ra 0,4

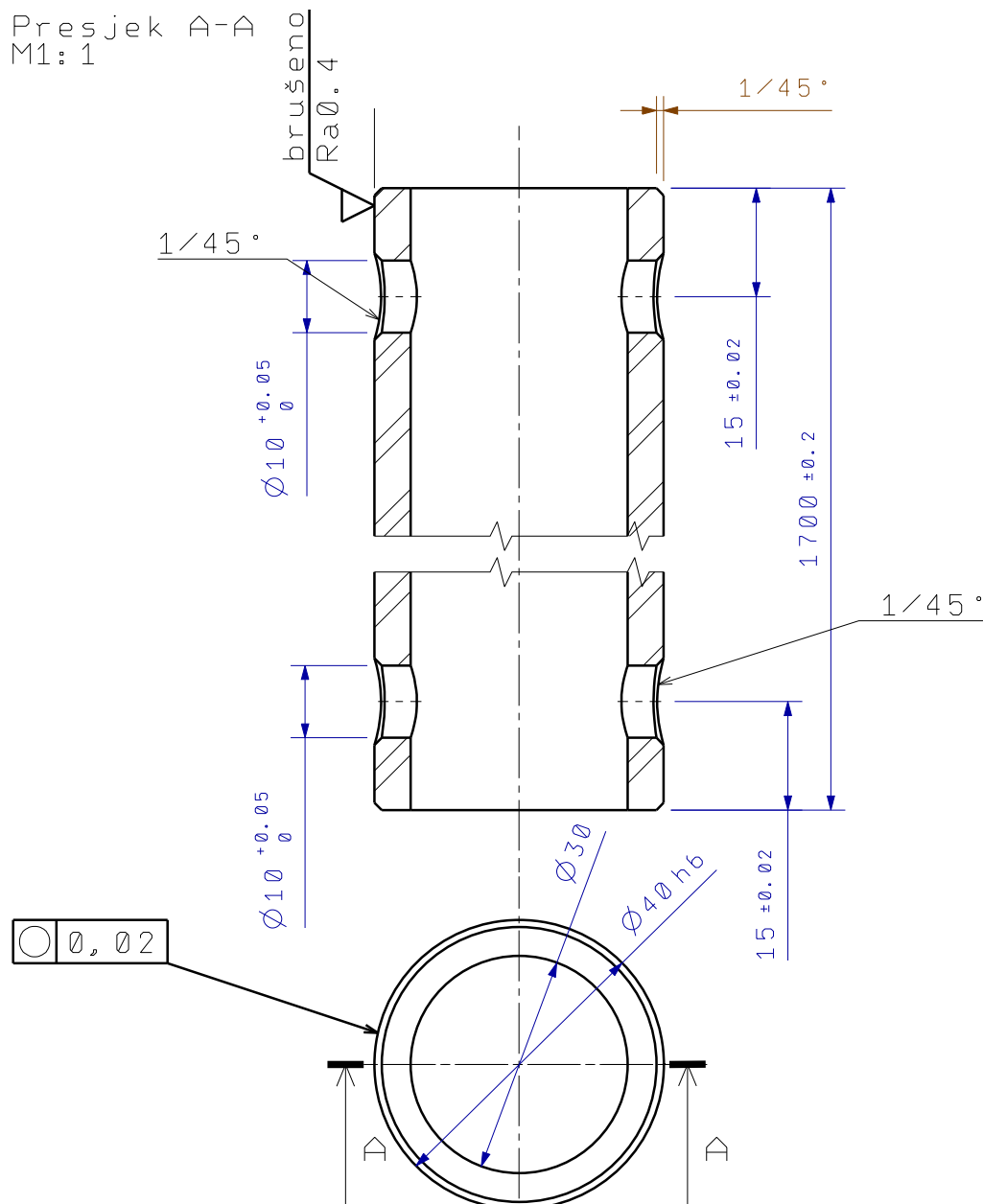


Napomena: Brusiti na $\phi 25-0,05$, zatim tvrdo anodizirati pa opet brusiti na mjeru. Minimalna debljina Al oksida 0,1mm.



Broj naziva - code			Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb		
		Projektirao	xx.06.2014.	Igor Štefanić				
		Razradio	xx.06.2014.	Igor Štefanić				
		Crtao	xx.06.2014.	Igor Štefanić				
		Pregledao	xx.07.2014.	Mario Štorga				
ISO - tolerancije		Objekt: Podsklop X-osi			Objekt broj:CM_01_07.00			
φ25h6	0,000 -0,013				R. N. broj:			
		Napomena:				Kopija		
		Materijal: AlSiMg			Masa: 1,47kg			
					Naziv:			Pozicija:
		Mjerilo originala			Šipka φ20		12	Format: A4
		1:1			Crtež broj: CM_01_07_12.00			Listova:1
								List: 1

✓ / ∇ brušeno
Ra0.4

Presjek A-A
M1:1

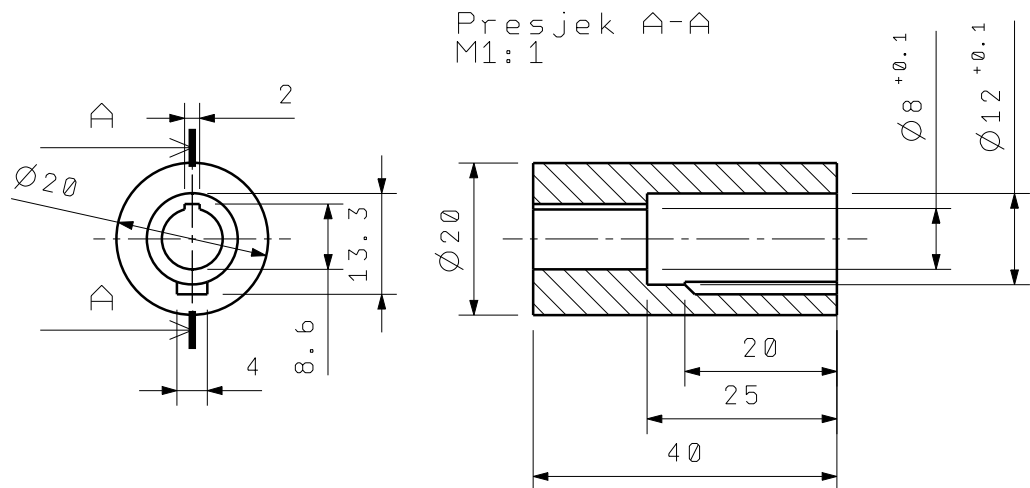



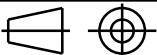
Napomena: Brusiti na $\text{Ø}40 - 0.05$, zatim tvrdo anodizirati, pa opet brusiti na mjeru. Min. debljina Al oksida 0,1mm.

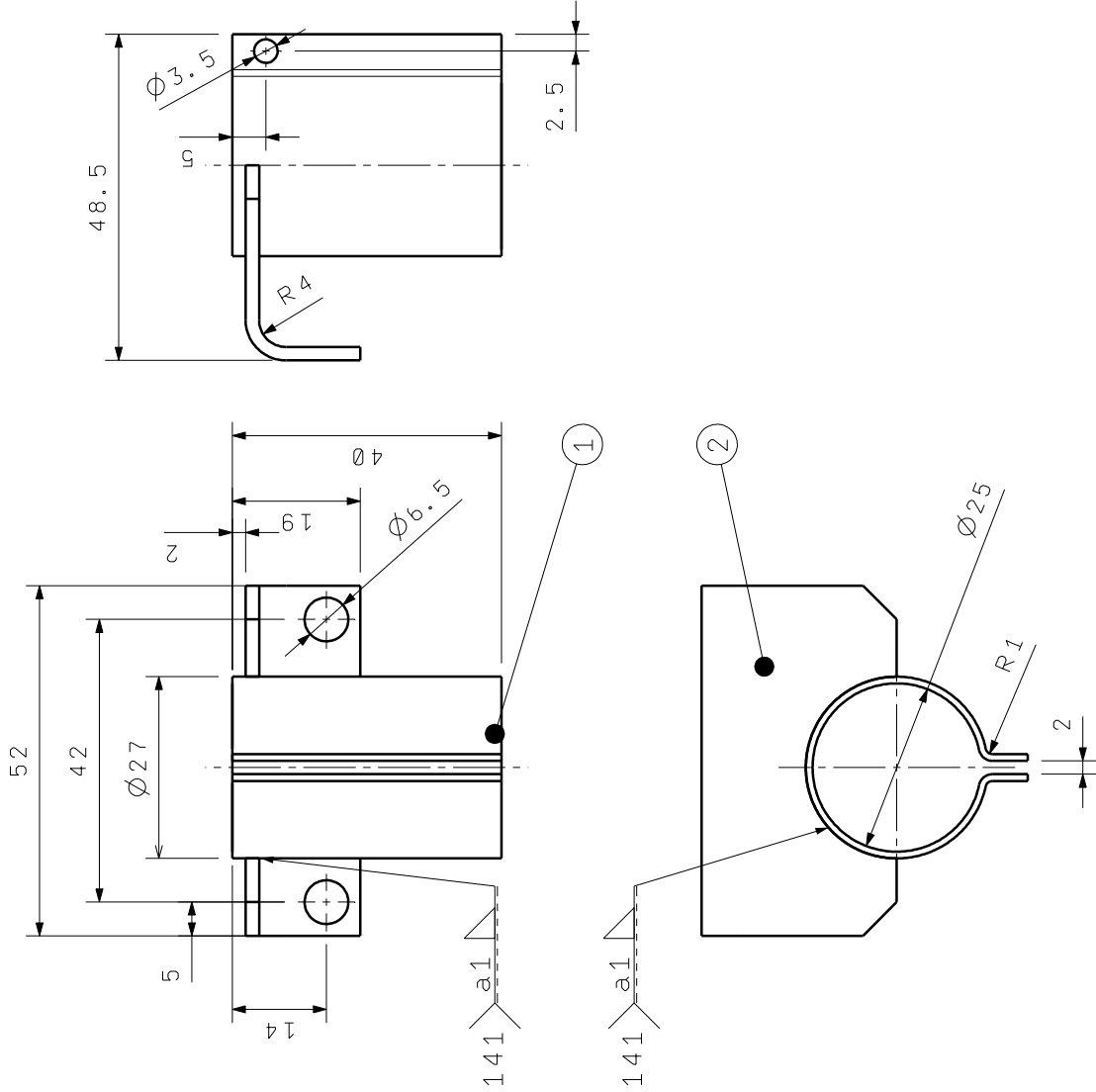
Broj naziva - code		Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb	
		Projektirao	xx.06.2014.	Igor Štefanić		
		Razradio	xx.06.2014.	Igor Štefanić		
		Crtao	xx.06.2014.	Igor Štefanić		
		Pregledao	xx.07.2014.	Mario Storga		
ISO - tolerancije		Objekt: Monoklizač, Podsklop Y-os			Objekt broj:CM_01_12.00	
Ø40h6	0,000 -0,016				R. N. broj:	
		Napomena:				Kopija
		Materijal: AlSiMg			Masa: 2,5kg	
		 Naziv:			Pozicija:	Format: A4
					Mjerilo originala	
		1:1			Crtež broj: CM_01_12_02.00	
					List: 1	

Šipka $\text{Ø}40$

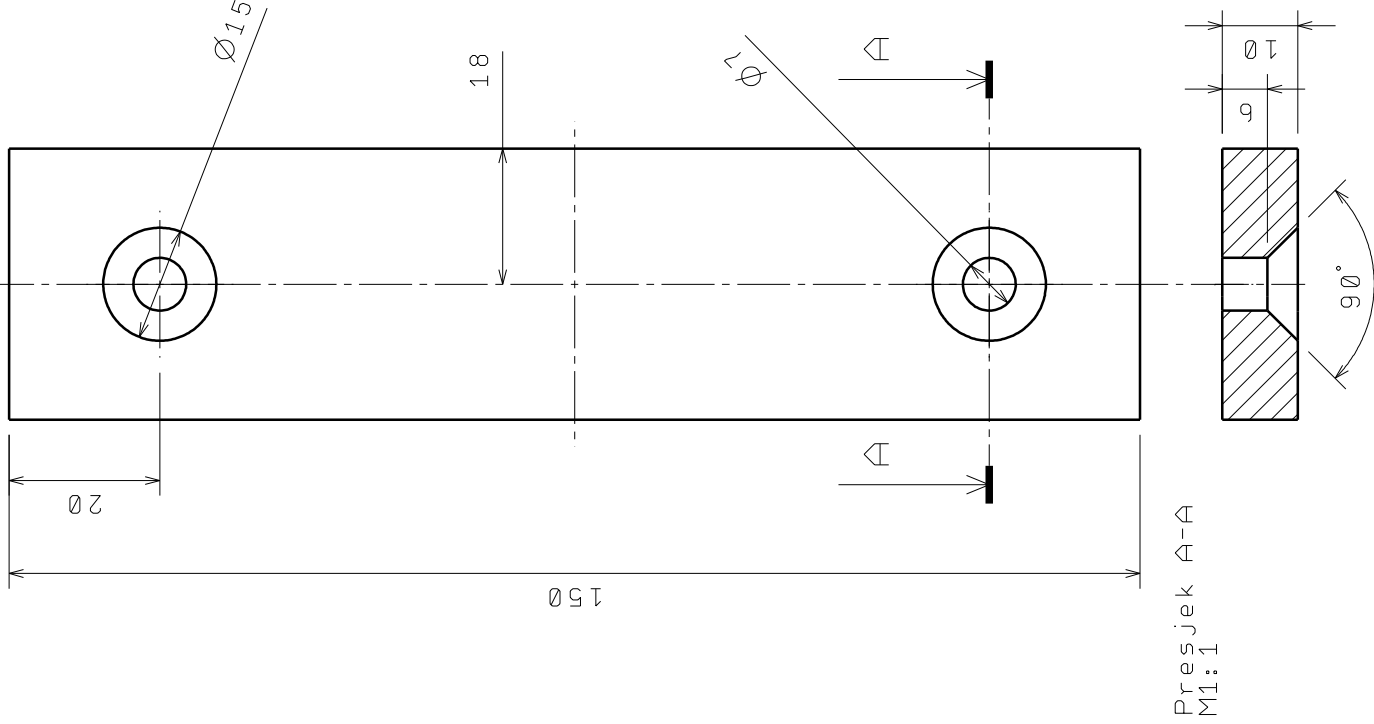
√ Ra 6,3




Broj naziva - code		Datum		Ime i prezime		Potpis		<div> FSB Zagreb</div>		
		Projektirao		xx.06.2014.	Igor Stefanić					
		Razradio		xx.06.2014.	Igor Stefanić					
		Crtao		xx.06.2014.	Igor Stefanić					
		Pregledao		xx.07.2014.	Mario Storga					
ISO - tolerancije		Objekt:				Objekt broj:CM_01_07_04.00				
		Z-os				R. N. broj:----				
		Napomena:----						Kopija		
								<div></div>		
		Materijal: AlSiMg		Masa: 0,02kg						
				Naziv:			Pozicija:		Format: A4	
		Mjerilo originala		Spojka			3		Listova:1	
		1:1							List: 1	
		Crtež broj: CM_01_07_04_03.00								




2	Nosac obujmice	1	CM_01_07_04_06B.00	S235JR	52x19x2	0,03kg	
1	Obujmica gorionika	1	CM_01_07_04_06A.00	S235JR	Ø27x1x40	0,03kg	
Poz.	Naziv crteža	Kom	crtež broj	Materijal	Sirove dimenzije	Masa	
Broj naziva - code			Datum	Ime i prezime	Polpis	FSB Zagreb	
			Projektirao	xx.06.2014.	Igor Stefanić		
			Razradio	xx.06.2014.	Igor Stefanić		
			Crtao	xx.06.2014.	Igor Stefanić		
			Pregledao	xx.07.2014.	Mario Storga		
ISO - tolerancije			Objekt: Z-os		Objekt broj:CM_01_07_04.00		
			Napomena:----		R. N. broj:----		
			Materijal: S235JR		Masa: 0,06kg		
			Naziv: Štitnik Vida		Pozicija: 6		
			Mjerilo originala		Format: A4		
1:1			Crtež broj: CM_01_07_04_06.00		Listova:1		
					List: 1		

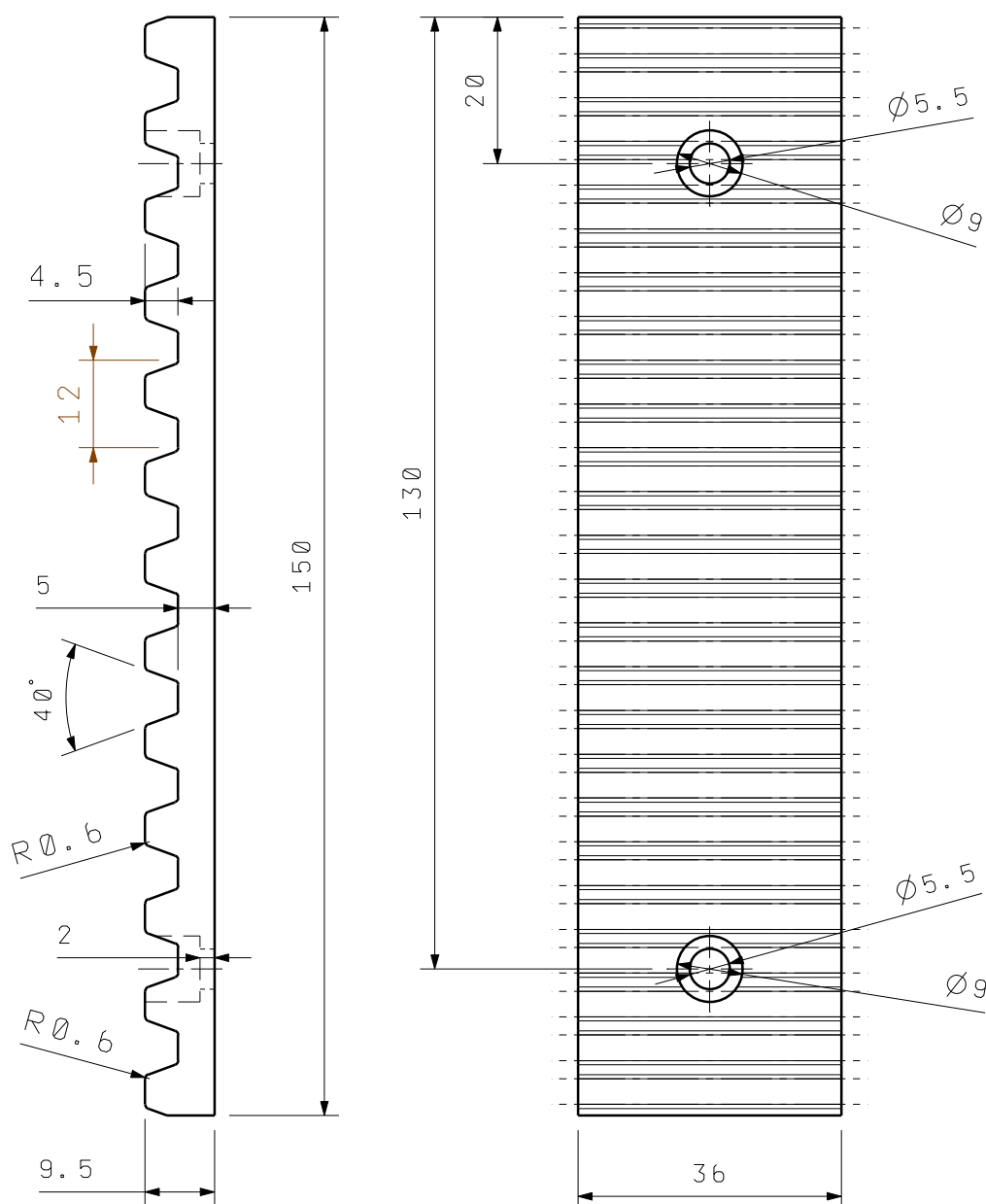



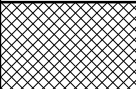

Presjek A-A
M1:1

Broj naziva - code		Datum		Ime i prezime		Potpis	
		Projektirao		xx.06.2014.			Igor Stefanić
		Razradio		xx.06.2014.			Igor Stefanić
		Crtao		xx.06.2014.			Igor Stefanić
		Pregledao		xx.07.2014.			Mario Storga
ISO - tolerancije		Objekt:		Cutter Master 1500		Objekt broj: CM_01.00	
						R. N. broj:	
		Napomena:				Kopija	
		Materijal: AlSiMg		Masa: 0,25kg			
				Naziv:		Pozicija: 19	
		Mjerilo originala		Zatvarač remena		Format: A4	
		1:1				Listova: 1	
				Crtež broj: CM_01_19.00		List: 1	

FSB Zagreb

√ Ra 6,3



Broj naziva - code		Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb		
		Projektirao	xx.06.2014.	Igor Stefanić			
		Razradio	xx.06.2014.	Igor Stefanić			
		Crtao	xx.06.2014.	Igor Stefanić			
		Pregledao	xx.07.2014.	Mario Štorga			
ISO - tolerancije		Objekt:			Objekt broj: CM_01_20.00		
		Podsklop Y-osi			R. N. broj:		
		Napomena:				Kopija	
							
		Materijal: AlSiMg	Masa: 0,15kg				
			Naziv:			Pozicija:	
		Mjerilo originala	Zubna letva			9	
		1:1	Crtež broj: CM_01_20_09.00			Format: A4	
						Listova: 1	
						List: 1	